



**Influência da iluminação LED e do substrato no crescimento,
produção e
qualidade de 8 cultivares de *Fragaria* × *ananassa***

Francisco António Gomes Pestana

Dissertação para obter grau de mestre em

Engenharia Agronómica – Ramo geral

Orientadores: Doutora Maria da Graça Sequeira Palha Mendonça

Professora Doutora Cristina Maria Moniz Simões de Oliveira

Júri:

Presidente: Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor Auxiliar
Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

Doutora Maria da Graça Sequeira Palha Mendonça, Investigadora Auxiliar do Instituto
Nacional de Investigação Agrária e Veterinária.

Doutora Paula Scotti Lorenzini Borges Campos Afonso, Investigadora Auxiliar do
Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária.

Agradecimentos

Às orientadoras desta dissertação, a investigadora Doutora Maria da Graça Palha e a Professora Doutora Cristina Oliveira, pela força e apoio, dedicação, rigor, disponibilidade e motivação, e também pelas sugestões e críticas na revisão do trabalho.

Ao engenheiro José Manuel Ferreira Semedo, por toda a ajuda no âmbito da actividade fotossintética.

Ao Francisco Barreto, pela ajuda nos trabalhos culturais, colheitas e medições feitas ao longo do ensaio, e pela boa disposição que passa a quem com ele trabalha.

A todos os funcionários do INIAV, que tenham de certa forma contribuído para este projeto.

A todos os meus amigos e familiares que contribuíram para a minha formação pessoal, académica e laboral.

Aos meus pais, por toda a força e pelo enorme apoio e compreensão ao longo de todo o meu percurso académico.

Muito agradecido!

Resumo

Durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, fatores ambientais como a radiação solar e a temperatura podem ser limitantes no período outono-inverno quando a intensidade luminosa e a temperatura são mais baixas, afetando a atividade fotossintética e a produtividade da planta. Um acréscimo de luz, através do uso de lâmpadas LED (*light-emitting diodes*), pode minimizar os impactos negativos para a fisiologia da planta em condições menos favoráveis de luminosidade, nomeadamente em zonas temperadas (dias curtos).

Com o presente trabalho pretendeu-se avaliar o efeito da iluminação com lâmpadas LED, como complemento da luz do dia, e de dois tipos de substrato (Coco-fibra de coco e M1- mistura de casca de pinheiro, turfa e fibra de coco) no desempenho fotossintético, na biometria e partição da matéria seca bem como na produtividade e qualidade do fruto do morangueiro. O estudo envolveu diferentes genótipos de morangueiro, *Fragaria xananassa*, correspondentes a dois tipos de cultivares (cvs.): 6 cvs. de dias-curtos (DC) Camarosa (padrão), Liberty, Rábida, Reliance, Merced e Splendor; e 2 cvs. indiferentes (ID) Albion e San Andreas.

A análise dos resultados permitiu observar que um acréscimo de luz LED durante o período de outono e inverno contribuiu para um melhor desempenho fotossintético das plantas e maior área foliar por planta, não influenciando outros parâmetros biométricos bem como os diferentes componentes da produtividade. O teor de clorofilas (SPAD) variou apenas em função da cultivar. A produtividade das plantas em substrato Coco foi superior, com frutos de maior peso. O substrato M1 levou à produção de frutos com maior °Brix e maior acidez. Entre genótipos, a 'Rabida' foi a mais precoce e a mais produtiva de todas as cultivares. A 'San Andreas' foi a mais produtiva entre as cultivares ID, com produções semelhantes à cv. Camarosa.

Em termos gerais, pode concluir-se que a aplicação da luz LED durante o outono e inverno apontaram benefícios no desempenho fotossintético das cultivares mas não no aumento da produtividade da cultura. A produtividade da *Fragaria xananassa* foi mais dependente do genótipo e do substrato, indicando que a radiação solar não foi limitante.

Palavras-chave: cultivares de dias-curtos e indiferentes, fotossíntese, clorofila, área foliar, produção de frutos

Abstract

During plant growth and development, environmental factors such as solar radiation and temperature may be limiting in the fall-winter period when light intensity and temperature are lower, affecting photosynthetic activity and productivity. Increasing light intensities with supplemental illumination in greenhouse crops can minimize negative impacts on plant physiology, especially in temperate zones (short days).

The aim of this study was to evaluate the effects of light-emitting diodes (LEDs), as supplemental to natural day light, and of two types of substrate (1-coconut fiber and 2-mixture of pine bark, peat and coconut fiber) on strawberry photosynthetic performance, biometrics parameters and dry matter partitioning, yield and fruit quality.

The study involved different genotypes of *Fragaria* × *ananassa* corresponding to different types of cultivars: six short-day cultivars, Camarosa, Liberty, Rábida, Reliance, Merced and Splendor; and two day neutral cultivars Albion and San Andreas.

Plants exposed to supplemental LED lighting during the autumn-winter period had better photosynthetic performance and showed a tendency to have greater leaf area. LED lighting did not influence other biometric characteristics as well as the different components of the production. The chlorophyll content (SPAD) varied only according to the cultivar. Plant productivity and fruit quality was mainly affected by differences between cultivars. However plants grown on coconut fibre produced significantly more fruit than those grown in substrate mixture. Concerning genotypes, 'Rábida' cultivar had the highest yield and early production among short-day cultivars and 'San Andreas' between day neutral cultivars. These results showed that the photosynthetic performance, the biomass production and the productivity of *Fragaria* × *ananassa* were more dependent on the genotype and substrate and that light conditions were not limiting for strawberry growth and production.

Keywords: short-day and day neutral cultivars, photosynthesis, chlorophyll, leaf area, fruit production

Índice

Agradecimentos.....	i
Índice de Figuras	vi
Índice de Quadros	viii
Abreviaturas, Siglas e Símbolos	viii
Lista de Anexos	x
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1. A produção do morangueiro	4
2.2. Taxonomia e origem.....	4
2.3. Morfologia da planta	4
2.4. Fisiologia da planta	6
2.4.1. Fase vegetativa.....	6
2.4.2. Fase reprodutiva	7
2.4.3. Fase de dormência	7
2.5. Tipo de cultivares	8
2.6. Qualidade do morango	8
2.7. Cultura protegida.....	10
2.8. A cultura em substrato.....	11
2.8.1 Substratos.....	12
2.8.1.1. Propriedades físicas.....	12
2.8.1.2. Propriedades químicas	12
2.8.1.3. Propriedades biológicas.....	13
2.8.1.4. Principais materiais constituintes de substratos	13
2.8.1.5. Efeitos dos substratos na cultura e na qualidade	14
2.9. Luz artificial	14
3. Material e Métodos	16
3.1. Localização do ensaio	16
3.2. Delineamento experimental.....	17
3.3. Caracterização do material vegetal	18
3.4. Instalação e condução do ensaio	19
3.4.1. Sistema de iluminação artificial	19
3.4.2. Substrato	20
3.4.3. Plantação.....	20
3.4.4. Monda de flores	20

3.4.5. Rega e fertilização	20
3.4.6. Proteção fitossanitária.....	21
3.5. Registos e observações efetuadas.....	22
3.5.1. Dados climáticos.....	22
3.5.2. Temperatura do substrato.....	23
3.5.3. Atividade fotossintética	23
3.5.4. Análise do crescimento e desenvolvimento.....	23
3.6. Análise da produção e produtividade.....	24
3.7. Análise da Qualidade do morango.....	25
3.7.1. Peso e forma (C/L).....	25
3.7.2. Firmeza.....	25
3.7.3. Cor.....	25
3.7.4. Sólidos solúveis totais (°Brix)	26
3.7.5. Potencial de hidrogénio (pH).....	26
3.7.6. Acidez titulável.....	26
3.8. Tratamento estatístico	26
4. Resultados e Discussão.....	27
4.1 Condições ambientais	27
4.2 Avaliação da atividade fotossintética	29
4.3 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas	34
4.4 Análise quantitativa da produção.....	42
4.4.1 Produção precoce e produção total.....	42
4.4.2 Produção por calibre	44
4.5. Análise qualitativa da produção.....	45
4.5.1. Análise das características físicas dos frutos	45
4.5.2. Análise das características químicas dos frutos	47
5. Conclusão.....	50
6. Referências Bibliográficas.....	52

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema representativo do complexo de estufas do INIAV, com pormenor do compartimento 3 onde decorreu o ensaio assinalado a azul.....	16
Figura 2 - Esquema representativo do ensaio.....	17
Figura 3 - Sistema de iluminação com luz LED do ensaio.....	19
Figura 4 - Medição das trocas gasosas nas folhas de morangueiro, com o analisador portátil de gases por infravermelho (IRGA).	23
Figura 5 - Análise da qualidade de fruto: (a) amostras de frutos; (b) – medição do comprimento; (c) – medição da largura; (d) medição da firmeza.....	25
Figura 6 - Variação diária da radiação PAR, medições quinzenais no setor L0, durante a fase de crescimento vegetativo e início de floração (A) e durante a floração e frutificação (B).....	27
Figura 7 - Valores da temperatura máxima, mínima e média no interior da estufa.	28
Figura 8 - Valores de humidade relativa, máxima, mínima e média no interior da estufa.....	29
Figura 9 - Comparação das taxas de fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) nas plantas sujeitas a luz LED e sem luz, 83 DAP.	30
Figura 10 - Influência da luz LED na fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) das cultivares de morangueiro cultivadas em substrato M1 e Coco, na floração. Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre L0 (sem luz) e L1 (com luz) para o mesmo tipo de substrato.	31
Figura 11 - Comparação das taxas de fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (g_s) e transpiração (E), nas plantas sujeitas a luz LED e sem luz, 184 DAP.	32
Figura 12 - Influência da luz LED na fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) das cultivares de morangueiro cultivadas em substrato M1 e Coco, em plena frutificação. Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre L0 (sem luz) e L1 (com luz) para o mesmo tipo de substrato.	33
Figura 13 - Teor de clorofilas (Índice SPAD) das diferentes cultivares ensaiadas, na floração (A) e em plena frutificação (B). Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre cultivares.....	34
Figura 14 - Influência da luz LED (L1e L0 – com e sem luz), do substrato (Coco – fibra de coco e M1 – mistura de substratos) e da cultivar (Al – Albion, Ca- Camarosa, Li – Liberty, Me – Merced, Ra – Rabida, Re – Reliance, Sa – San Andreas e Sp – Splendor) na área foliar por planta, aos 58, 150 e 182 DAP. Por tratamento, barras com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).....	38
Figura 15 - Evolução da matéria seca total da planta em relação ao efeito da luz LED (L1 – com e L0 – sem luz) e do substrato (Coco – fibra de coco e M1 – mistura de substratos). Por tratamento, barras com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).....	39
Figura 16 - Evolução da matéria seca total da planta em relação às cultivares de morangueiro (Al – Albion, Ca- Camarosa, Li – Liberty, Me – Merced, Ra – Rabida, Re	

– Reliance, Sa – San Andreas e Sp – Splendor). Por tratamento, barras com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).....	39
Figura 17 - Evolução da partição da matéria seca pelos diferentes órgãos da planta em relação à luz LED (L1 – com e L0 - sem), do substrato (Coco – fibra de coco e M1 – mistura de substratos) e da cultivar (Al – Albion, Ca- Camarosa, Li – Liberty, Me – Merced, Ra – Rabida, Re – Reliance, Sa – San Andreas e Sp – Splendor). Por tratamento, barras da mesma cor com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).....	40
Figura 18 - Efeito do substrato no peso dos frutos em g.	45
Figura 19 - Influência dos substratos na razão SS/AT.....	49

Índice de Quadros

Quadro 1 - Teor médio dos macronutrientes (ml/100ml) e valores médios de pH e condutividade elétrica (mS/cm) da solução nutritiva fornecida diariamente, nas fases vegetativa, de floração e frutificação da planta.	21
Quadro 2 - Lista de pragas e doenças ocorridas nas plantas durante o ensaio e tipo de tratamento, substância ativa e dose aplicada em cada tratamento.	22
Quadro 3 - Efeito da iluminação (L0 – sem e L1- com luz), do substrato e cultivar no diâmetro de coroa, no número de corioas e de folhas, aos 53 e 178 dias após a plantação (DAP).	35
Quadro 4 - Efeito da iluminação (L0 – sem e L1- com luz), do substrato e cultivar no número de inflorescências e de flores por planta, aos 53 e 178 dias após a plantação (DAP).	36
Quadro 5 - Efeito do tratamento de luz na produção total, precoce (fevereiro + março), abril e maio.	43
Quadro 6 - Influência dos fatores substrato e cultivar, no peso médio dos frutos comercializáveis.	44
Quadro 7 - Influência do fator cultivar nas características físicas, peso, forma, dureza, comprimento, tonalidade e saturação.	46
Quadro 8 - Influência do fator substrato nas características químicas, ° Brix, Acidez titulável e pH.	47
Quadro 9 - Efeito das cultivares nas características químicas, ° Brix, Acidez titulável e pH.	48
Quadro 10 - Valores médios, máximos e mínimos da temperatura no interior da estufa ao longo do ensaio.	59
Quadro 11 - Matéria seca e área foliar 53 DAP.	60
Quadro 12 - Matéria seca e área foliar 150 DAP.	61
Quadro 13 - Matéria seca e área foliar 178 DAP.	62
Quadro 14 - Produção total, produção precoce (fevereiro + março) produção em abril e em maio.	64
Quadro 15 - Características físicas dos morangos (peso, forma, dureza, comprimento, tonalidade e saturação).	66
Quadro 16 - Características químicas dos morangos (° Brix, Acidez, e pH).	67

Abreviaturas, Siglas e Símbolos

AF - Área foliar

AT - Acidez titulável

CTC - Capacidade de troca catiónica

Cv. - Cultivar

DAP - Dias após a plantação

DC - Dias curtos

FAO - Food and Agriculture Organization

IAF - Índice de área foliar

ID – Indiferentes ao fotoperíodo

INIAV - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

MS - Matéria Seca

pH - Potencial de hidrogénio

RFA - Radiação fotossinteticamente ativa

SS - Sólidos solúveis

p. - Página(s)

Ø - Diâmetro

Pn - Taxa de fotossíntese líquida

G_s - Condutância estomática

E - Transpiração

Lista de Anexos

ANEXO I – Condições ambientais	59
ANEXO II - Crescimento e desenvolvimento das plantas	62
ANEXO III - Análise quantitativa da produção.....	63
ANEXO IV - Análises físicas e químicas dos morangos.....	65
ANEXO V - Artigos:	

Influência da iluminação LED no desempenho fotossintético de *Fragaria xananassa* em Substrato

Plant Growth, Yield and Fruit Quality of *Fragaria xananassa* Genotypes under Supplemental LED Lighting System and Substrate Cultivation

1.Introdução

A *Fragaria xananassa* é um híbrido octoplóide que deu origem à maior parte das variedades de morangueiro cultivadas nas várias regiões produtoras no mundo. As variedades comerciais (cultivares) são de adaptação microclimática, apresentando um melhor desempenho em meios agroambientais semelhantes aos meios onde foram selecionadas (López-Aranda, 2008). A adaptação morfológica e fisiológica a outros meios é expressa pela interação genótipo x ambiente.

Devido à crescente competitividade no setor do morango tem-se verificado grandes mudanças nas tecnologias de produção de morango. Os produtores têm recorrido à produção do fruto em cultura sem solo (substrato e *new growing sistem*) em estufa para aumentar a precocidade e a produtividade. No entanto, no período de outono-inverno alguns fatores ambientais como a intensidade luminosa e a temperatura podem ser limitantes, afetando a atividade fotossintética e a produtividade da planta (Oda, 1997). Um acréscimo de luz através do uso de lâmpadas tem demonstrado o efeito positivo na melhoria do crescimento e desenvolvimento da planta (Gottdenker *et al.*, 2001; Folta & Childers, 2008; Palha & Oliveira, 2017).

Nas regiões situadas a maiores latitudes, a luz é considerada um dos fatores ambientais mais restritivos para o crescimento das plantas do morangueiro, pois a partir de setembro o fotoperíodo e a intensidade da luz decrescem influenciando diretamente a fotossíntese e a produtividade (Oda, 1997; Nestby & Trandem, 2013; Hydaka *et al.*, 2012).

A tecnologia da iluminação artificial com recurso a lâmpadas (fluorescentes, vapor de sódio e LED – *light emitting diodes*) tem sido estudada em várias culturas, em torno de três variáveis da luz: qualidade (cor e comprimento de onda), quantidade (fluxo e frequência de fótons) e duração da luz (fotoperíodo). No seu conjunto estes três parâmetros influenciam a arquitetura da planta, o crescimento vegetativo e a floração, a atividade fotossintética das folhas e a produtividade (Takeda *et al.*, 2008; Li *et al.* 2012; Hidaka *et al.*, 2013).

A determinação das trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração) pode constituir uma importante ferramenta na avaliação de adaptação e estabilidade dos genótipos aos diferentes sistemas de produção existentes nas regiões produtoras de morango.

O morango é um fruto de grande importância nos mercados de muitos países do mundo, pois este é bastante apreciado tanto pelo seu sabor ao natural ou sintético, como também a sua aparência e aroma agradáveis. O morango é também uma fonte importante de vitamina C, o que faz com que seja bastante consumido tanto em fresco como numa grande variedade de produtos que o utilizam na sua formulação (Hancock, 1999).

Devido à crescente consciencialização do consumidor, os produtores têm adaptado o processo produtivo do morango, pois a sustentabilidade e a segurança alimentar são critérios utilizados na escolha do produto pelos consumidores. Estando assim em

alternativa ao sistema de cultivo no solo, a ser cada vez mais sistemas de cultivo sem solo, instalados em Portugal. Com a instalação destes sistemas a infeção e contaminação dos solos deixam de ser preocupação, e elevam a gestão da água e nutrientes fornecidos a um grau mais elevado de eficiência.

Os sistemas de cultivo sem solo que mais comumente, se instalam em Portugal são sistemas abertos com drenagem perdida da solução nutritiva. A base para as plantas mais utilizada nestes sistemas são os substratos. Os substratos podem ser renováveis ou não renováveis. O substrato mais utilizado é a turfa, que é não renovável, tendo-se procurado substituir por outros como a fibra de coco e a casca de pinheiro.

Existem muitas cultivares de morangueiro, mas a nível nacional a gama utilizada é relativamente baixa sendo a 'Camarosa' a mais predominante. Nos últimos anos têm sido criadas novas cultivares, que têm potencial produtivo competitivo relativamente à 'Camarosa', tanto em termos de precocidade como das características organoléticas, já para não falar de fatores como a produção e resistência a doenças.

A avaliação do crescimento vegetativo e reprodutivo, da produtividade e da qualidade do fruto através do estudo de vários parâmetros de crescimento e desenvolvimento ao longo do ciclo vegetativo da planta, tais como o vigor vegetativo, o padrão de floração e de frutificação, precocidade e produtividade, tempo e uniformidade de maturação e resistência a doenças e pragas, serve para determinar a adaptabilidade das cultivares de morangueiro a uma determinada região de produção ou sistema de produção.

No estudo da qualidade do fruto podem ser analisadas certas características como o flavor (sabor e aroma), tamanho, simetria, formato, firmeza, e cor da polpa e da epiderme, brilho, fácil separação do cálice, teor de vitaminas, teor de sólidos solúveis, acidez e resistência a podridões.

São poucos os estudos efetuados sobre a influência do fator luz na eficiência fotossintética do morangueiro nas regiões produtoras a sul da Europa com condições ambientais mais favoráveis e mais competitivas, onde se inclui Portugal. Assim, com este trabalho pretendeu-se avaliar o efeito da iluminação com lâmpadas LED, como complemento da luz do dia, e de dois tipos de substrato (Coco-fibra de coco e M1-mistura de casca de pinheiro, turfa e fibra de coco) no desempenho fotossintético, na biometria e partição da matéria seca bem como na produtividade e qualidade do fruto do morangueiro. O estudo envolveu diferentes genótipos de *Fragaria xananassa* correspondentes a dois tipos de cultivares: 6 cvs. de dias-curtos (DC) Camarosa (testemunha), Liberty, Rábida, Reliance, Merced e Splendor; e 2 cvs. indiferentes (ID) Albion e San Andreas.

Parte desta dissertação foi objeto de duas comunicações (Anexo V), em congressos internacionais:

Uma comunicação apresentada no I Congresso Luso Brasileiro de Horticultura, Lisboa, 1 a 4 de novembro de 2017, Pestana, F., Semedo, J.N., Scotti-Campos, P., Oliveira, C.M. & Palha, M.G. Influência da iluminação LED no desempenho fotossintético e na produtividade da *Fragaria x ananassa* em substrato, Atas Portuguesas de Horticultura 29:272-279.

E publicação apresentada sob a forma de painel apresentada no International Horticultural Congress (IHC 2018), Istanbul, 12 -16 agosto 2018. Palha, M.G., Pestana, F. and Oliveira, C.M. Plant growth, yield and fruit quality of *Fragaria xananassa* genotypes under supplemental LED lighting system and substrate cultivation *Acta Horticulturae* (em impressão).

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A produção do morangueiro

A produção e consumo de morango em Portugal nos últimos 30 anos têm sofrido uma grande mudança ao nível da área de produção e quantidade produzida por hectare.

A produção de morangos entre 1990 e 2014, passou de 2500 toneladas (t), para 12800 t, e ao mesmo tempo a área de produção foi reduzida de 800 para 400 ha.

Desde 2007 que a área de produção de morango varia entre 300 e 400 ha, com uma média de produção de 32 t por ha. Nestes últimos anos a produção media anual tem variado entre as 9000 e as 15000 toneladas. Área e produção de morango nos 3 últimos anos (INE, 2018) foram respetivamente, 321, 394 e 314 ha, e 9659, 10753 e 9347 t.

O consumo aparente (= Produção + Importação – Exportação) de morango em Portugal também sofreu uma grande mudança tendo desde 1990 passado de 1483 t para 23652 t em 2016. O que resulta num aumento das importações principalmente de Espanha, sendo o saldo da balança comercial em 2016 de -12899 t (GPP, 2017).

2.2. Taxonomia e origem

O morangueiro pertence à família *Rosaceae* e as cultivares mais utilizadas em todo o mundo, pertencem à espécie *Fragaria x ananassa* Duchesne. E teve origem na europa por hibridações espontâneas entre duas espécies de frutos grandes (*Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana* no século XVIII. Estas espécies eram originárias da América tendo sido trazidas para a europa no seculo XVII (Hancock, 1999).

2.3. Morfologia da planta

De acordo com Palha (2005), o morangueiro é uma planta herbácea de pequeno porte com um sistema radicular fasciculado e superficial, e 25 a 50% do mesmo encontra-se nos primeiros 7,5 cm, e entre 50 a 90% encontra-se nos primeiros 15 a 20 cm e normalmente apresenta entre 20 a 35 raízes primárias e milhares de secundárias. As raízes primárias penetram o solo e servem de sustento e as secundárias servem para absorver água e nutrientes e também como acumuladores de reservas no inverno. As raízes nascem adventiciamente da base das novas folhas ao longo da coroa.

O caule é um rizoma estolhoso, pequeno e de formato cilíndrico de onde emergem em roseta as folhas trifoliadas formando o conjunto a que se dá o nome de 'coroa'. A planta pode ter uma ou mais coroas de onde nascem folhas, inflorescências, estolhos, coroas ramificadas e raízes adventícias (Palha, 2005).

As folhas são trifoliadas, ou seja, constituídas por três folíolos, de cor verde, mate ou brilhante consoante a variedade. As folhas dispõem-se em espiral a 2/5, estando cada sexta folha quase por cima da primeira, proporcionando assim uma maior exposição à luz. Os pecíolos das folhas, possuem na sua base duas estipulas de proteção onde se encontram os gomos, que podem evoluir tanto em estolhos como em novas coroas (Palha, 2005).

O estolho é um ramo diferente dum ramo-coroa, principalmente pela elongação dos dois primeiros entrenós. Os novos estolhos, emergem das estipulas-bainha da folha subjacente. O primeiro estolho emerge, comumente da axila da primeira folha. O primeiro e segundo entrenós do estolho, terminam cada um, numa bráctea e num gomo axilar. As plantas-filhas são constituídas pelos terceiros e sucessivos entrenós, que são muito curtos, possuindo os nós normalmente folhas trifoliadas com gomos axilares. O primeiro gomo axilar da planta filha pode produzir novamente um estolho, com dois nós e outra planta-filha, e assim sucessivamente. Para estimular a formação de estolhos, requer-se uma intensidade luminosa e temperaturas elevadas, e também dias longos, com um ótimo de 16 horas de luz e 24° C (Heide, 1997; Guttridge, 1985; Rissel e Navatel, 1997).

Segundo Durner e Poling (1985), quando o meristema apical se alonga e o ápice se torna achatado, dá-se a iniciação da inflorescência.

A inflorescência é terminal, emergindo das estipulas-bainha da folha, imediatamente abaixo dela, ao mesmo tempo que a folha se expande. O eixo de crescimento da inflorescência termina numa flor primária que mantém uma posição dominante no desenvolvimento da inflorescência. Cada eixo da inflorescência termina numa única flor produzindo brácteas que irão sustentar o outro eixo com uma flor de ordem inferior e assim sucessivamente. Assim sendo, uma inflorescência típica, apresenta uma flor primária, que é a mais velha, duas flores secundárias, quatro flores terciárias e oito flores quaternárias (Darrow, 1929).

Segundo Palha (2005), as flores são pentâmeras e possuem pedúnculos compridos revestidos de pelos, agrupando-se em corimbos. A maioria das flores do morangueiro cultivado são hermafroditas e geralmente apresentam na sua constituição cinco sépalas e cinco pétalas. As pétalas são brancas e de forma variável, desde elíptica a arredondada e também oval.

A flor tem entre 20 a 30 estames e um número variável de pistilos, dispostos em espiral sobre um receptáculo enorme. Os estames estão dispostos ao redor e sobre os ovários, de modo que quando se dá discência das anteras, o pólen caia diretamente sobre os estigmas, que apresentam rugosidades e depressões que retêm eficazmente os grãos de pólen (Hancock, 1999).

As flores primárias, de cada inflorescência, são as primeiras a frutificarem, produzindo os frutos de maiores dimensões. As flores secundárias e terciárias, como têm menor número de pistilos darão frutos menores (Palha, 2005).

O morango é um fruto formado pelo conjunto do receptáculo e múltiplos aquênios. Os aquênios são o resultado da fecundação dos óvulos, os quais se distribuem em reentrâncias na superfície do receptáculo (Palha, 2005).

2.4. Fisiologia da planta

O desenvolvimento do morangueiro está dependente da evolução do seu gomo terminal e do seu gomo axilar, que evoluem de uma forma dependente entre si. A dominância apical regula o desenvolvimento dos gomos axilares, sendo assim os gomos basais são os primeiros a desenvolverem-se (Phillips, 1975).

No morangueiro a transformação dos gomos depende da fase em que se encontra o meristema, zona de multiplicação celular no centro do gomo, onde se formam novos órgãos.

Assim sendo, e segundo Duarte *et al.* (1999), os meristemas podem estar em três fases distintas:

- Vegetativa: produz ou folhas, ou coroas ou estolhos.
- Reprodutiva: em que os gomos evoluem para florescência
- Dormência: o gomo encontra-se dormente.

O crescimento e o desenvolvimento do morangueiro, em condições naturais, são controlados principalmente pela ação do fotoperíodo e temperatura, apesar de fatores como a intensidade luminosa e a nutrição azotada terem influência neste processo (Palha, 2005).

2.4.1. Fase vegetativa

Durante a formação das raízes (rizogénese), a temperatura situa-se entre 17° e 30° C (Roudeillac *et al.*, 1987). As temperaturas acima de 30° C são prejudiciais ao desenvolvimento das raízes. No outono, após o sistema radical estar estabelecido, temperaturas abaixo de 15° C são favoráveis a acumulação de reservas ao nível das raízes e rizoma (Guttridge, 1955).

Quanto à diferenciação de estolhos, esta é estimulada pelos dias longos e temperaturas altas, sendo que quando as condições ambientais são desfavoráveis os gomos desenvolvem novas coroas (Heide, 1977). Em cultivares de dias curtos quando os dias são ainda demasiado curtos, dá-se a ramificação das coroas em primazia da formação de estolhos (Darrow & Waldo, 1934).

O desenvolvimento foliar consiste basicamente no aumento da área foliar (AF), o qual determina a evolução do índice de área foliar (IAF). Uma vez que o IAF influencia diretamente na interceção de radiação solar e fotossíntese, determinando em grande parte a produtividade da cultura, é portanto, um parâmetro fisiológico muito importante em análises de crescimento de plantas e modelos de simulação de produtividade (Streck *et al.*, 2003; Streck *et al.*, 2005 a,b; Xue *et al.*, 2004).

Para o desenvolvimento foliar as condições ambientais ideais são dias longos e temperaturas crescentes que se devem situar entre 18 e 28° C. E de acordo com um estudo realizado por Borthwick & Parker (1952), maior será o tamanho das folhas quanto maior for o hemeroperíodo.

2.4.2. Fase reprodutiva

Uma complexa interação entre o fotoperíodo e a temperatura promove a passagem do meristema da fase vegetativa para a fase reprodutiva, dando-se assim a iniciação floral. Esta passagem é caracterizada por mudanças físicas e químicas, onde o ápice do sistema caular vegetativo é transformado em reprodutivo, pela diminuição da produção de giberelinas. Assim sendo pode-se afirmar que a iniciação floral é afetada pelos fatores internos, pela temperatura, pelo fotoperíodo, ou pelos três conjuntamente (Bueno *et al.*, 2002)

Segundo Palha (2005), nos morangueiros designados de dias curtos ou não remontantes, esta passagem dá-se no outono com o decrescer dos dias e com a diminuição da temperatura. Verifica-se que quanto mais baixa é a temperatura, maior será o número de horas de luz necessárias para a indução floral. A maioria das plantas de dias curtos refloresce mais do que uma vez quando crescem a temperaturas baixas. Os morangueiros remontantes dividem-se em dias longos ou indiferentes. Sendo que, nos primeiros se dá a iniciação floral quando o fotoperíodo é superior a 12 horas de luz, já nos segundos esta dá-se independentemente do fotoperíodo.

A diferenciação floral dá-se quando se desenvolvem órgãos florais ou se desenvolvem flores nas inflorescências, fase que determina o número de flores por inflorescência e conseqüentemente o número de frutos (Guérineau *et al.*, 2003).

2.4.3. Fase de dormência

Durante o outono, em que os dias são curtos e as temperaturas são baixas, o crescimento da planta abrande, tal como a taxa de iniciação floral, a ramificação de coras e da produção de folhas, entrando assim progressivamente em dormência (Darrow, 1936).

Pode dizer-se que este estado é parcialmente uma dormência imposta ou ecodormência, pois se às plantas forem restabelecidas condições ambientais favoráveis, estas quebram a dormência, mas se não tiverem tido as necessidades em horas de frio necessárias, as plantas não apresentarão vigor vegetativo nem produtivo. O que sugere a existência de uma verdadeira dormência ou endodormência, subjacente à dormência imposta (Lang, 1987).

Para quebrar a dormência as plantas precisam acumular um determinado número de horas de frio abaixo de 7º C, por forma a completar o seu ciclo. O número de horas depende de cada cultivar. Após a quebra da dormência, reinicia-se o crescimento vegetativo como também a floração e frutificação (Darrow, 1936).

A data de arranque das plantas, condiciona o tempo de permanência no solo, influenciando o crescimento e produtividade do morangueiro. O arranque cedo (poucas horas de frio) leva a um baixo crescimento vegetativo e baixa produção. O arranque tardio (horas de frio em excesso) leva a um desenvolvimento vegetativo exagerado e baixa produção (Palha, 2005).

2.5. Tipo de cultivares

De acordo com Palha (2005), a floração no morangueiro depende essencialmente do fotoperíodo e da temperatura, com base na resposta a estes dois fatores, classifica-se as cultivares em dias curtos (DC), Dias longos (DL) e indiferentes (ID).

Dias curtos:

- Fotoperíodo: <14h
- Temperatura: <15° C

Dias longos:

- Fotoperíodo: ≥12h

Indiferentes:

- Este tipo de cultivar pode iniciar floração a qualquer altura do ano, exceto a temperaturas superiores a 30° C.

Existem mais de 1000 variedades de morangueiro em todo o mundo, tal se deve a um incremento considerável nos últimos anos de variedades, resultante da intensificação dos trabalhos de melhoramento genético, que têm como objetivo maior precocidade e produtividade das mesmas. Como o morangueiro é uma planta de microclima, a adaptação da mesma está fortemente relacionada com as condições edafo-climáticas e com a latitude onde as cultivares são obtidas, pelo que em Portugal a cultivar mais proeminente continua a ser a 'Camarosa' quer pela sua precocidade e qualidade do fruto quer pela boa adaptação à região (Palha, 2005).

2.6. Qualidade do morango

É difícil definir a qualidade dos frutos, por ser variável entre produtos, e mesmo num produto isolado depende do objetivo do seu uso. Os requisitos de qualidade estão relacionados com o mercado de destino: armazenamento, consumo "*in natura*" ou fresco ou processamento (Chitarra & Chitarra, 2005).

A avaliação da qualidade de morangos deve ter em consideração aspetos como aparência (cor, tamanho, forma, ausência de defeitos), firmeza, odor, sabor (sólidos solúveis, acidez titulável) e o valor nutritivo (Kader, 1991). Grande parte desses atributos sofre alterações físico-químicas e bioquímicas durante a fase de pós-colheita (Chitarra, 1999).

Os morangos são ricos em vitaminas e minerais, e são populares em todo o mundo. Têm uma grande concentração de frutose e sacarose. São ricos em vitamina C, além de concentrarem minerais, ácido cítrico e málico, que desempenham um papel importante no organismo humano, favorecendo a absorção de ferro (Carvalho *et al.*, 2001).

Após a colheita, os morangos deixam de ser abastecidos pelos nutrientes e água como quando estavam na planta, o que os torna deterioráveis após a colheita (Chitarra

& Chitarra, 2005). Os morangos são bastante perecíveis influenciando a duração do armazenamento, por diversos fatores, destacando-se a taxa respiratória, produção de etileno, perda de água, deteriorações, danos mecânicos, temperatura de armazenamento e temperatura durante a comercialização (Neves *et al.*, 2004).

O parâmetro de qualidade mais importante do ponto de vista do consumidor é o sabor, que é condicionado pelo balanço açúcar/acidez do fruto, o que contribui para o sabor adocicado do fruto (Brackmann *et al.*, 2002).

A aparência do fruto é o fator de qualidade mais importante na determinação do valor comercial. Pois a cor, o tamanho, a turgescência e a ausência de defeitos externos, são as características que o consumidor pode avaliar no ato de compra.

A cor é o aspeto da qualidade que permite determinar o grau de frescura do produto. Pois as cores dos frutos estão normalmente relacionadas com o grau de amadurecimento do produto (Vilas Boas, 1999).

Os pigmentos que se encontram nos frutos para além de serem componentes estéticos importantes, são também indicadores da maturação dos mesmos. Por exemplo, as antocianinas são as principais responsáveis pela coloração avermelhada dos morangos maduros (Domingues, 2000).

A determinação da coloração dos frutos pode ser feita através de métodos subjetivos, baseados na intensidade e variação da cor perceptíveis ao olho humano. A determinação da cor também pode ser feita com equipamentos, que medem a quantidade e qualidade da luz refletida do produto, garantindo maior confiabilidade no uso deste parâmetro (Oliveira, 2005).

Para determinar o sabor ácido ou azedo dos morangos, a acidez titulável (AT) é o método mais utilizado, através da percentagem de ácido orgânico, para determinar a qualidade dos produtos processados, é a determinação do pH (concentração do ião hidrogénio) o método mais viável (Nunes, 2001; Vilas Boas, 1999).

Os sólidos solúveis (SS) são compostos solúveis na água e importantes na determinação da qualidade do fruto. O teor de SS é expresso em °Brix, que é obtido por refratómetro. Este teor é um indicativo da quantidade de açúcares existentes no fruto, apesar de outros compostos também fazerem parte, mas em pequenas proporções. O teor de SS influi na doçura do fruto durante a maturação, e é um importante parâmetro na determinação do seu sabor (Kawamata, 1997).

Os açúcares solúveis, são responsáveis pela doçura, por meio do balanço com ácidos, ou seja, a relação entre sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT), é uma variável muito representativa do sabor dos frutos, mais que a sua medição isolada, pois demonstra o equilíbrio entre açúcares e acidez presentes. Segundo Kader (2001), morangos com sabor aceitável devem ter um mínimo de 7,0 de °Brix de sólidos solúveis e um máximo de 0,8% de acidez titulável.

2.7. Cultura protegida

A instalação de uma cultura de morangueiros em ambiente protegido proporciona várias vantagens, nomeadamente proteção contra chuvas, geadas, temperaturas baixas, granizo, vento e do ataque de pragas.

De acordo com Calvete e Tessaro (2008), o sucesso das culturas protegidas está relacionado, principalmente, com a maior precocidade e produtividade. Mas existem desvantagens, como o aumento da concentração de sais no solo ou substrato e a poluição causada pelos plásticos pois a maioria não são biodegradáveis. Dentre estas desvantagens a que promove maior restrição é o custo.

Para se promover a maior eficiência de um ambiente protegido, tem de se compreender a inter-relação da planta e dos fatores microclimáticos nesse ambiente. Os fatores que proporcionam o desenvolvimento e crescimento da planta são fisiológicos (transpiração, respiração e fotossíntese) e físicos (luz, temperatura, humidade e CO₂) (Taiz & Zeiger, 2004).

Segundo Martinez Garcia (1986), do ponto de vista térmico, os ambientes protegidos comportam-se de forma insatisfatória, pois durante o dia podem ocorrer temperaturas elevadas, e à noite, podem ocorrer temperaturas inferiores às críticas das plantas cultivadas.

Essa condição está ligada principalmente ao balanço de energia, que está dependente do tamanho da estufa, das propriedades óticas da cobertura, e das condições meteorológicas (Buriol *et al.*, 1993).

De acordo com Martins & Gonzalez (1995), quando esse incremento de temperatura no interior da estufa é elevado, tal efeito pode ser atenuado com abertura lateral ou superior da mesma, ou através de um sistema de ventilação.

Já para Anglés (2001), com temperaturas muito altas pode ocorrer o fenómeno de desnaturação de proteínas, desorganização de paredes celulares e alterações de processos bioquímicos.

A variabilidade da humidade relativa do ar no interior das estufas depende diretamente da temperatura do ar e da ventilação. A humidade relativa influi sobre a transpiração, o crescimento, a fecundação de flores e a ocorrência de doenças (Cermeno, 1994).

Segundo Furlan (2001) valores elevados de humidade relativa, levam à redução da taxa de evapotranspiração da cultura, que associada a altas temperaturas geram condições muito favoráveis a ocorrência de doenças. Em contraponto, valores de humidade relativa muito baixos podem levar a altas taxas de evapotranspiração, o que pode levar à redução da taxa fotossintética e da produtividade da cultura.

Em culturas protegidas o efeito da temperatura do ar e consequentemente este sobre a humidade relativa do ar, está relacionada com o balanço de energia. A radiação solar que penetra as estufas e que é absorvida pelo solo e plantas denomina-se radiação de ondas longas. Já a radiação de onda curta influi no crescimento da planta em dois aspetos: a radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm), enquanto o total de energia é o principal fator que afeta a transpiração (McCree, 1972).

A velocidade do vento aliada à radiação incidente são fatores que influenciam na renovação do ar na camada limite da folha, afetando o déficit de pressão de vapor (DPV) entre as folhas e o ar. Este efeito na abertura estomática tem sido estudado. Alguns autores sugerem que a diminuição do DPV pode aumentar o crescimento das plantas por alterações fisiológicas, como a redução da transpiração e aumento da abertura estomática, incrementando a fotossíntese e a eficiência do uso da água (Cunnigham, 2006).

A produtividade e a qualidade dos frutos do morangueiro são influenciadas por elementos microclimáticos e pelas práticas de condução da cultura. Assim sendo, cultivares que se desenvolvem satisfatoriamente numa dada região, não apresentam o mesmo desempenho numa região diferente com condições ambientais diferentes (Ueno, 2004).

2.8. A cultura em substrato

Os limites do cultivo em substrato são amplos, incluindo todos os métodos e sistemas que fazem a planta crescer e desenvolver-se fora do seu ambiente natural: o solo (Gavilán, 2004).

A produção de morango em substrato apareceu nos anos 80 nos países Baixos, onde já havia produção de tomate e pepino em substrato, e durante a última década tem-se expandido pela Europa central e do Sul, com o fim de fazer face à importação de Espanha (Guérineau *et al.*, 2003). A produção de morangueiro em substrato teve o seu início acompanhado da técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT), mas atualmente os sistemas abertos com drenagem perdida de solução nutritiva e plantas dispostas em sacos ou vasos contendo vários substratos predominam. Contudo a tendência é cultivar em substrato com sistemas fechados, com solução recirculante por razões económicas e ambientais (Giménez *et al.*, 2008).

A produção de morango em substrato quando comparada com a produção no solo apresenta várias vantagens tais como, o uso de substratos isentos de patogénicos e sais com menor risco de aparecimento de doenças do sistema radicular, a homogeneidade dos mesmos como meio de desenvolvimento que leva a uma maior uniformidade cultural, melhor polinização e maior produção por m². Este sistema cultural possibilita também um melhor controlo das necessidades hídricas e nutritivas, levando a uma maior eficiência no uso da água como também possibilita a reutilização dos drenados em culturas diferentes ou na própria. Mas o conhecimento da composição qualitativa da água de rega tanto como a concentração dos sais dissolvidos é necessário para fazer o cálculo correto da solução nutritiva a aplicar, por forma a assegurar um nível hídrico e oxigenação do substrato adequado, assim como despistar possíveis problemas fitossanitários que possam ocorrer pela presença em excesso de alguns elementos (Miranda *et al.*, 2004).

Na escolha da água a usar na fertirrega deve ter-se em conta a sua condutividade elétrica (CE), que deverá ser inferior a 0,8 mS/cm, antes da adição dos nutrientes. Mas águas com CE relativamente alta devido a concentrações elevadas Ca, Mg ou sulfatos são económicas relativamente ao adubo. Já concentrações elevadas de Na e Cl,

implicam a lavagem do substrato, levando ao aumento da percentagem de drenados, aumentando consequentemente o consumo de fertilizantes (Martim, 1987).

De acordo com Miranda *et al* (2004), a solução nutritiva a aplicar deve apresentar um pH relativamente ácido compreendido entre 5,5 e 6,0.

2.8.1 Substratos

A utilização do substrato como substituto do solo, prende-se com a facilidade de transporte e manuseamento das plantas, e com a existência de fatores limitantes na produção intensiva no solo, como a transmissão de agentes patogénicos e a salinidade.

O substrato é um material, natural ou artificial, onde as raízes se desenvolvem, e deve fixá-las e suprir as suas necessidades de ar, água e nutrientes. Um substrato deve permitir um fornecimento adequado de oxigénio ao sistema radicular como também facilitar a saída de dióxido de carbono, assegurando dessa forma a respiração radicular e microbiana (Asiah *et al.*, 2004).

Segundo López (2005), o substrato pode ser de origem natural ou sintética ou residual, podendo ainda ser mineral ou orgânico e ser constituído por um ou vários materiais.

Apesar da origem, a escolha do substrato ideal para produção de plantas com o objetivo de obter bons resultados durante todas as fases culturais, deve ter em conta um conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas cujos valores se devem manter dentro de uma gama de valores considerada adequada (Batista & Batista, 2007).

2.8.1.1. Propriedades físicas

Na determinação da qualidade e para sugestão de usos e limitações dos substratos deve ter-se em conta algumas características físicas: granulometria, porosidade total, capacidade da retenção da água, a porosidade ocupada pelo ar e a compactação. Estas propriedades influem não só na disponibilidade de ar e água, mas também nas propriedades térmicas, na atividade biológica e na disponibilidade de nutrientes para as plantas. De forma, a que a utilização do substrato seja rentabilizada ao máximo, é crucial o conhecimento das propriedades físicas para que estas sejam controladas atempadamente (López, 2005).

2.8.1.2. Propriedades químicas

Na caracterização de um substrato as propriedades químicas de maior importância são: capacidade de troca catiónica (CTC), o pH, disponibilidade dos nutrientes e salinidade.

De acordo com López (2005), as propriedades químicas do substrato e as suas correlações influem no crescimento das plantas e determinam o tipo de reações que se dão no mesmo, como a mobilidade dos elementos (hidrólise e dissolução mineral, intercâmbio de iões e biodegradação da matéria orgânica), e como consequência, o nível de desenvolvimento da planta e as medidas aplicáveis possíveis.

2.8.1.3. Propriedades biológicas

Os substratos ao longo de todo o processo cultural, tornam-se num ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos, devido às condições ambientais da estufa, das regas, da fertilização e ajustamento do pH. Assim, os substratos tornam-se passíveis de degradação biológica, podendo esse processo alterar as propriedades físicas e químicas dos mesmos, influenciando assim o desenvolvimento da cultura (Lemaire, 1995; Ribeiro *et al.*, 2001, cit in Matos, 2001; Abad *et al.*, 2004).

A proliferação de microrganismos nos substratos também pode causar doenças ao nível radicular que comprometem o normal desenvolvimento das plantas. Os mais encontrados segundo, Carlile & Wilson (1991) são *Pythium*, *Phytophthora* e *Fusarium*.

Já Brito (2012), afirma que se pode promover a supressão dos agentes patogénicos com a utilização de microrganismos dos géneros *Trichoderma* e *Gliocladium*, e ainda promover o crescimento das plantas com a inoculação de microrganismos que estabeleçam associações micorrízicas com as raízes das plantas.

2.8.1.4. Principais materiais constituintes de substratos

Os materiais mais utilizados para produzir substratos são, fibra de coco, turfa e casca de pinheiro. Existem outros como os substratos inertes, lã de rocha, vermiculite e a perlite, mas com menos interesse.

Relativamente à fibra de coco esta apresenta características físicas e químicas adequadas ao cultivo de muitas espécies, diferindo da turfa grandemente nas propriedades químicas (Correia, 2006).

A fibra de coco tem uma grande desvantagem, pois consoante a zona de origem as suas propriedades físicas e químicas variam muito, sendo que, num estudo desenvolvido por Abad *et al.*, (2002), se observaram valores de CE bastante diversos, podendo influir adversamente em plantas sensíveis à salinidade.

A fibra de coco também apresenta vantagens quando comparada com outros tipos de substrato, por ser de natureza hidrófila esta pode-se reidratar sem perda de estrutura e a baixo custo.

A turfa é largamente utilizada em viveiros pois possui elevada porosidade, bom arejamento e elevada capacidade de retenção de água. Por vezes, a retenção de água pode ser baixa, a fim de aumentá-la e diminuir a densidade aparente, a turfa pode ser utilizada em misturas com outros materiais (Robbins & Evans, s.d).

A turfa como substrato apresenta uma boa estabilidade física, biologicamente é praticamente livre de patogénicos, embora durante o ciclo cultural os desenvolva rapidamente, e ao nível químico tem pH baixo, que é facilmente corrigível. A baixa densidade aparente deste substrato torna o seu transporte económico (Maher *et al.*, 2008).

O uso da turfa está em declínio quer por questões ambientais quer pela exploração da mesma que excede largamente a sua reposição.

A casca de pinheiro é um substrato muito económico e biodegradável quando comparado com outros nomeadamente a turfa.

A casca de pinheiro fresca não deve ser utilizada como substrato pois com o tempo as suas propriedades físicas e químicas vão se alterando. Assim sendo a compostagem garante a bioestabilidade da casca de pinheiro, a supressão microrganismos patogênicos e promove a redução de substâncias fitotóxicas como terpenos, fenóis e ácidos orgânicos (Maher *et al.*, 2008; Naasz *et al.*, 2008).

2.8.1.5. Efeitos dos substratos na cultura e na qualidade

Segundo Palencia (2016), a influência do meio de crescimento no desenvolvimento das plantas, parece ser dependente da cultivar, uma vez que na literatura pode ser encontrada uma disparidade de resultados. No estudo, levado a cabo por Palencia (2016), foi analisado o efeito do substrato no rendimento da cultura, qualidade global do fruto e relativamente a compostos relacionados com o sabor e saúde, tendo chegado à conclusão que as diferenças entre cultivares foram responsáveis pela maior parte da variabilidade observada no estudo.

Também Ameri (2012), avaliou o efeito de substrato e cultivar sobre o crescimento característico de morangueiro em sistema de cultivo sem solo. O tratamento experimental consistiu de três cultivares de morangueiro ('Camarosa', 'Mrak' e 'Selva') e seis meios de cultura (M1 -cascas de arroz, M2 - restos de sicômoro, M3 - fibra de coco + perlite (50:50), M4 - vermi compostos + perlite + fibra de coco (5:45:50), M5- (15:40:45) e M6 - (25:35:40). A análise estatística mostrou que a interação de substrato e cultivar afetou significativamente o crescimento característico do morango em sistema de cultivo sem solo. 'Camarosa' em substrato de M3 apresentou maior área foliar e menor área foliar na cultivar 'Mrak' e substrato de M5. 'Camarosa' e 'Mrak' em substrato de M4 apresentaram maior comprimento de pecíolo, enquanto o menor pecíolo foi observado em 'Camarosa' em substrato de M1. Houve elevado número de estolhos na cultivar 'Camarosa' em substrato de M4 e M6.

2.9. Luz artificial

Os LED's (*light-emitting diodes*) são muito vantajosos relativamente às formas de iluminação tradicionais. O seu tamanho pequeno, durabilidade, longa duração, temperatura de emissão baixa e a opção de escolher comprimentos de onda para uma resposta específica da planta torna o uso de LED's em instalações mais adequados que as outras fontes de luz.

A qualidade da luz desempenha um importante papel na aparência de plantas ornamentais e na produtividade de culturas alimentares. Por exemplo, o vermelho longo tem um papel importante na estimulação da floração e na alongação dos entrenós (Deitzer *et al.*, 1979; Downs, 1956).

Para além da qualidade da luz, a posição das suas fontes relativamente às superfícies fotossintéticas das plantas tem um grande impacto na produtividade da cultura. Como a energia de radiação intercetada pelas plantas a partir de um emissor pontual (luz artificial), é proporcional ao inverso do quadrado da distância entre eles, a redução dessa distância terá um impacto importante ao nível da luz incidente. Quando

comparados, emissores LED podem ser operados mais perto da cultura, relativamente às lâmpadas fluorescentes, com o mesmo resultado e com custos inferiores de consumo energético (Bickford and Dunn, 1972).

Não existem substitutos para a luz solar (luz branca), que compreende todos os comprimentos de onda, mas a utilização de luz artificial pode melhorar o desempenho de uma cultura, evitando a privação de comprimentos de onda necessários (Massa *et al.*, 2008).

Folta e Childers (2008) demonstraram que o crescimento de plantas de morangueiro cultivadas por 40 dias em uma estufa foi maior quando iluminado com luz azul e vermelha combinada em comparação com a vermelha ou a azul sozinha.

Num estudo, desenvolvido por Choi (2015), foi avaliada a influência do uso de LED's sobre as características de crescimento da planta e na qualidade dos frutos. O ensaio foi conduzido sobre o efeito de três comprimentos de onda (azul, vermelho e azul e só vermelho), e o cultivo em duas localizações distintas, câmara de crescimento iluminada apenas com luzes LED e numa estufa plástica que recebeu luz LED suplementar além da luz natural. Quando os efeitos das diferentes luzes de LED foram examinados, uma produção de frutas notavelmente maior foi alcançada na estufa plástica quando a luz natural foi suplementada com luz LED azul ou luz azul e vermelha combinada. Verificou-se que a luz LED foi mais eficaz na acumulação de compostos fenólicos em ambas as localizações. Já na formação de antocianinas as luzes mais eficazes foram a azul e vermelha e azul combinada em comparação à luz vermelha ou o tratamento de controlo.

Segundo Machado (2015), os diferentes comprimentos de onda incidente no morangueiro têm efeito sobre seu desenvolvimento vegetativo. A utilização da luz azul e vermelho, tem efeito significativo sobre os teores de clorofila *a*, e induz o aumento da área foliar da planta, com uma maior precocidade de floração. Já a luz emitida nos comprimentos de onda do vermelho, aumentam os teores de clorofila *a* mas retardam a floração plena. Plantas que apresentam maiores teores de clorofila e apresentam um bom desenvolvimento vegetativo, aumentam a taxa de fotossíntese e tendem a aumentar a translocação de fotoassimilados para a produção de frutos.

Estudos indicam que a espessura da folha e o número de cloroplastos por célula, são muito mais dependentes do nível de luz azul do que da relação na combinação do vermelho com o infravermelho. Portanto, os estudos indicam que as lâmpadas de LED vermelhas podem ser eficientes na otimização da fotossíntese, para aumentar a altura da parte aérea, comprimentos dos entrenós e frequência de enraizamento, porém, a luz azul pode ser necessária para a síntese de clorofila, desenvolvimento e atividade dos estomas (Poudel *et al.*, 2008).

De forma geral, o uso de comprimentos de onda na região do azul e vermelho pode ser uma proposta para maior eficiência no desenvolvimento de plantas cultivadas, contudo, são necessários estudos que contemplem essas respostas, pois são muito dependentes da espécie a ser cultivada (Lazzarini *et al.*, 2017).

De acordo com a classificação de Köppen e Geiger, o clima da região onde estava inserido o ensaio é Csa, que corresponde a um clima mesotérmico (temperado), com estação seca durante o verão, temperatura média do ar no mês mais quente, superior a 22 ° C, enquanto a do mês mais frio está compreendida entre os 0 e 18 ° C; a quantidade de precipitação no mês mais seco é inferior a um terço da do mês mais chuvoso do semestre frio e inferior a 40 mm.

3.2. Delineamento experimental

O compartimento 3 do complexo de estufas de vidro estava dividido em dois setores, sem (L0) e com luz artificial (L1). O delineamento experimental de 3 fatorial (2x2x8) foi em *split plot* com 3 repetições, num total de 96 talhões (Fig. 2). Cada talhão correspondia a 7 plantas/m linear (21 plantas por tratamento).

Os tratamentos foram os seguintes:

- 1) Luz: L0 – sem iluminação artificial e L1 – com iluminação LED (2 níveis)
- 2) Substrato: Coco (fibra de coco) e M1 – Mistura de substratos (2 níveis)
- 3) Cultivares: ‘Camarosa’ (A), ‘Rabida’ (B), ‘Splendor’ (C), ‘Reliance’ (D), ‘Merced’ (E), ‘Albiñón’ (F), ‘Liberty’ (G) e ‘San Andreas’ (H) (8 níveis).

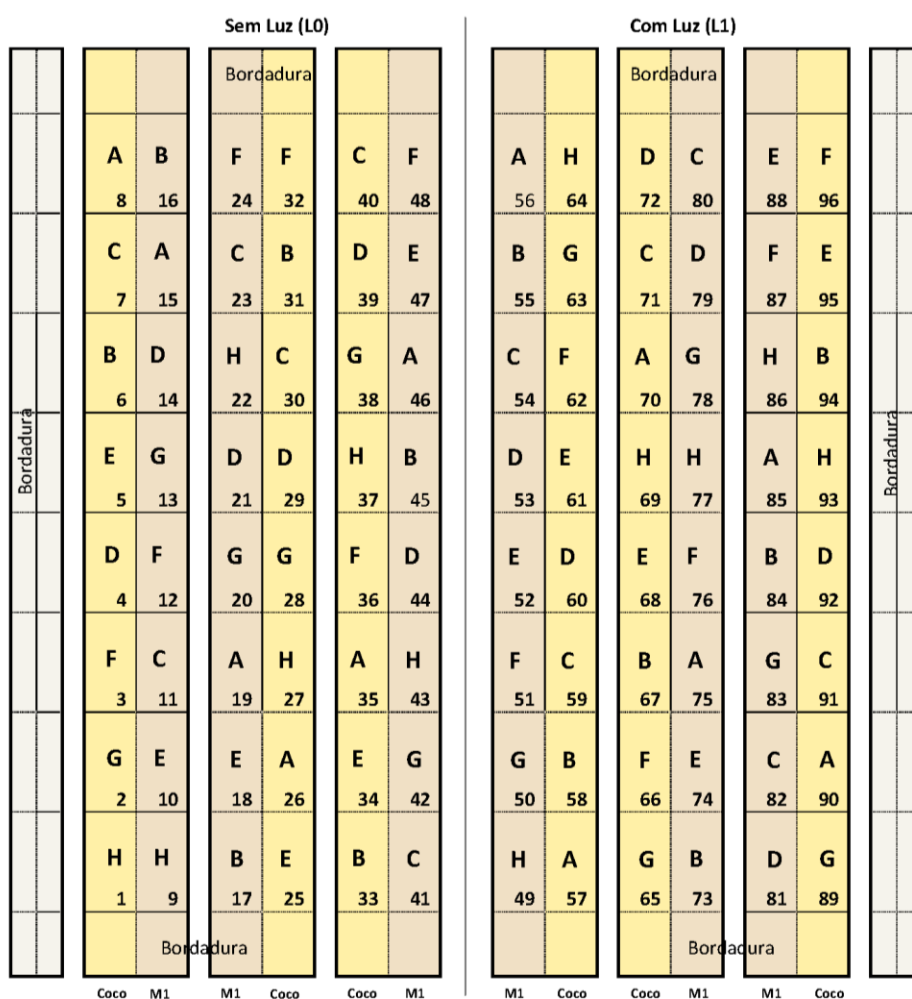


Figura 2 - Esquema representativo do ensaio.

3.3. Caraterização do material vegetal

Para realização do ensaio foram utilizadas oito cultivares de morangueiro, sendo 6 cultivares de dias curtos e duas cultivares indiferentes. O material vegetal usado foram plantas frescas de altitude, de raiz nua, provenientes de um viveirista nacional localizado na região da Guarda.

Em seguida, faz-se uma breve caraterização das cultivares.

- ‘Albión’

A cultivar Albión é uma planta indiferente de porte médio, com folhas de tamanho e espessura maior. Albión é resistente à antracnose, à verticiliose e podridão-da-coroa. É de origem norte-americana, da Universidade da Califórnia.

- ‘Camarosa’

É uma planta de dias curtos, obtida pela Universidade de Califórnia, em Davis (EUA), lançada em 1992 e utilizada tanto para consumo em fresco como para industrialização. São plantas bastante vigorosas e produtivas, com folhas grandes e de coloração verde escura. Os seus frutos são grandes e apresentam uma coloração vermelha escura. Esta cultivar é suscetível à mancha de micosfarela (*Mycosphaerella fragariae*), à antracnose (*Colletotrichum fragariae* e *Colletotrichum acutatum*) e à podridão cinzenta (*Botrytis cinerea*).

- ‘Liberty’

Planta de dias curtos, a ‘Liberty’ é considerada uma variedade precoce, apresentando frutos de tamanho médio com forma cónica e coloração vermelha. Apresenta também um bom grau Brix e por consequência bom sabor.

- ‘Merced’

A Merced é uma cultivar de dias curtos, e as plantas são compactas. Os frutos apresentam excelente qualidade relativamente à cor, sabor, firmeza e produtividade, quando comparados com outras cultivares como a ‘Camarosa’.

- ‘Rábida’

É uma cultivar de dias curtos, obtida pela “Fresas Nuevos Materiais S.A.”, Espanha. A planta apresenta um porte ereto e vigoroso, com folhas de coloração verde clara. Apresenta uma boa produção é precoce e total e os frutos são de calibre grande, cor vermelho brilhante. Produz frutos pouco deformados. Os frutos são muito saborosos e apresentam tanto em firmeza como em dureza valores médios. Esta cultivar é resistente à maioria das pragas.

- ‘Reliance’

Esta cultivar é de dias curtos. As plantas são bastante vigorosas e eretas, apresentando folhas de tamanho médio. Geralmente os frutos são lisos, brilhantes e simetricamente cónicos. E o cálice é facilmente removido na colheita.

- 'San Andreas'

A cultivar San Andreas é indiferente. As plantas são compactas e pequenas. O fruto apresenta uma boa firmeza e têm um aspeto atraente e apresentam um excelente sabor. Tem uma boa produtividade comparada à Albi3n, e mant3m-se independentemente das horas de luz. Esta variedade 3 muito resistente ao m3ldio, 3 antracnose, murcha de *Verticilium* e 3 Podrid3o-do-coroa.

- 'Splendor'

A 'Splendor' 3 uma cultivar de dias curtos. A planta apresenta um porte m3dio/pequeno. Relativamente aos frutos, estes s3o entre m3dios e grandes em tamanho e normalmente apresentam uma boa forma c3nica e cor vermelha escura. O sabor 3 uma mistura entre 3cido e doce. O fruto normalmente mostra-se bastante firme.

3.4. Instala3o e condu3o do ensaio

3.4.1. Sistema de ilumina3o artificial

Neste estudo, a ilumina3o artificial foi utilizada como complemento da luz natural durante o inverno, quando a intensidade de luz solar 3 mais baixa. O sistema de ilumina3o era constitu3do por 35 projetores contendo l3mpadas LED (*light-emitting diodes*) da marca Philips, modelo GreenPower LED 18W, (*flowering deep red/white*), com fluxo de fot3es de $22 \mu\text{mol s}^{-1}$. A luz emitida 3 uma combina3o de radia3o de vermelho pr3ximo e branca. O consumo de energia deste tipo de l3mpadas quando comparadas com as l3mpadas incandescentes 3 inferior a 80%, e o espectro e n3vel de luz 3 superior. A ilumina3o foi programada atrav3s do computador central do complexo de estufas (Fig.3). A programa3o foi di3ria (das 8:00h 3s 10:00h e das 17:00h 3s 19:00h) quando a radia3o fotossinteticamente ativa (PAR) era inferior a valores entre 150 e $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com in3cio em novembro at3 ao final de fevereiro.



Figura 3 - Sistema de ilumina3o com luz LED do ensaio.

3.4.2. Substrato

Os sacos contendo os substratos eram de polietileno preto com 150 µm de espessura e 1 m de comprimento. Foram colocados numa estrutura metálica com 1,0 m de altura. Utilizaram-se 2 substratos comerciais: CH-M1 composto por casca de pinheiro compostada (40%) e fibra de coco (20%) desenvolvido especialmente para o morango, e CH-Coco constituído por fibra de coco (100%). O substrato M1 é 100% orgânico, de lenta decomposição e isento de sementes, com boa capacidade de retenção de água, drenagem e arejamento, sendo disponibilizado em sacos com 28 litros (100x20x14cm) de capacidade. O substrato Coco é proveniente de desfibração do fruto da planta *Cocos Nucifera*, sendo fibroso, com boas características de drenagem e arejamento e com pH ligeiramente ácido. Os sacos possuíam 28,8 litros (100 x 18 x 18 cm) de capacidade.

3.4.3. Plantação

Para plantação, os sacos foram regados até ocorrer a escorrência da água para garantir um bom teor de humidade para o estabelecimento da cultura.

A plantação decorreu no dia 27 de novembro de 2014. Antes da plantação, efetuou-se uma limpeza das plantas, retirando as folhas secas, e uma desinfecção das plantas com fosetil de alumínio a 80%.

As plantas foram colocadas nos sacos em linhas duplas e alternadamente com um compasso de 0,25 m na linha e 0,125 m na entrelinha, correspondendo a 7 plantas por saco e por metro linear.

3.4.4. Monda de flores

Nas cvs. Albión e San Andreas, efetuou-se a monda de flores até as plantas apresentarem um desenvolvimento vegetativo e radicular adequado (4 a 5 trifólios). Esta é uma prática comum nas plantas indiferentes, pois como a floração ocorre independentemente do fotoperíodo, as plantas iniciam a floração em simultâneo com o crescimento vegetativo (folhas).

3.4.5. Rega e fertilização

A aplicação de água e dos nutrientes foi feita através de um sistema de rega automática, utilizando-se 6 gotejadores por cada saco de substrato, com um débito de 1,1 l/hora por gotejador. Foi estabelecido um programa de rega fixo, em que os horários das regas eram definidos à priori, em função da fase de desenvolvimento da planta e a quantidade de solução drenada.

A água utilizada no programa era da rede, com pH 7,1 e a condutividade elétrica de 0,200 mS cm⁻¹.

A fertirrega foi diária e realizada de igual modo em todos os tratamentos, utilizando-se os adubos líquidos da Tecniferti, nitrato de cálcio (8,6% N; 17% CaO), NPK (4% N; 8% P₂O₅; 12% K₂O), Humifosfato 2 (2,0% N; 2% P₂O₅; 14% K₂O) e micronutrientes. Os níveis de nutrientes e a condutividade elétrica foram ajustados ao longo do ciclo da planta (Quadro1), e doseados de acordo com Guérineau *et al.* (2003). A fertilização

iniciou-se 15 dias após a plantação, com um sistema de rega gota-a-gota e programado para 5 a 7 regas por dia em função da percentagem dos drenados.

Quadro 1 - Teor médio dos macronutrientes (ml/100ml) e valores médios de pH e condutividade elétrica (mS/cm) da solução nutritiva fornecida diariamente, nas fases vegetativa, de floração e frutificação da planta.

Fase	N	P	K	Ca	MgO	pH	CE
Vegetativa	4,23	3,47	13,73	3,4	0,39	5,4 - 6,1	0,8 - 1,0
Floração	6,43	5,35	20,95	5,1	0,56	5,3 - 6,0	1,2 - 1,3
Frutificação	5,26	4,18	12,72	5,1	0,56	5,0 - 5,5	1,1 - 1,2

3.4.6. Proteção fitossanitária

Semanalmente, durante todo o ciclo da cultura, as folhas secas e com sintomas de doenças eram retiradas como também os estolhos. A monitorização de pragas, doenças, vírus, auxiliares e infestantes foi feita também, permitindo averiguar a necessidade de tratamento e ação sobre os agentes.

A condução desta cultura foi feita na ótica da proteção integrada, sendo efetuados tratamentos químicos, com substâncias de síntese e de origem natural e tratamentos biológicos. Todas as intervenções foram registadas (Quadro 2).

A competir com as plantas de morangueiro houve algumas infestantes, que foram controladas através da monda manual.

Quadro 2 - Lista de pragas e doenças ocorridas nas plantas durante o ensaio e tipo de tratamento, substância ativa e dose aplicada em cada tratamento.

Data	Praga/Doença	Tipo de tratamento	Substância ativa	Dose
2 Março	Afídeos	Curativo	Lambda-cialotrina	1ml / 5l(localizada)
5 Março	Oídio	Curativo	Agroxistrobina	4ml / 5l (localizada)
10 Março	Afídeos	Curativo	Lambda-cialotrina	3ml / 20l
13 Março	Oídio	Curativo	Agroxistrobina	8ml / 10l
17 Março	Afídeos	Curativo	Água	30l
19 Março	Oídio	Curativo	Bupirinato 25%	10ml / 10l
31 Março	Afídeos	Curativo	Água	30l
7 Abril	Ácaros	Curativo	Abamectina	17ml / 6l (localizada)
20 Abril	Afídeos	Curativo	Lambda-cialotrina	4ml / 20l
27 Abril	Ácaros	Curativo	Abamectina	10ml / 10l
12 Maio	Afídeos	Curativo	Água	30l

As principais pragas observadas foram o aranhão vermelho e afídeos e nas doenças foi o oídio. Houve também incidências pontuais de *Botrytis cinerea* nos frutos e de alguns vírus, consequência dos seus vetores (pragas).

Ao aparecimento inicial dos afídeos fizeram-se várias lavagens localizadas nos focos com água e sabão potássico como fim de atrasar o desenvolvimento da população nas plantas, mas com pouco sucesso.

3.5. Registos e observações efetuadas

3.5.1. Dados climáticos

A medição da temperatura do ar e da radiação PAR, no compartimento onde decorreu o ensaio, foi feito com aparelho *data logger* que fazia o registo e a média horaria para cada elemento climático, colocado no lado do setor L0. Para a humidade relativa, recorreu-se aos dados registados pelo sistema de recolha climática do complexo de estufas.

3.5.2. Temperatura do substrato

Sempre que possível e com o auxílio de termômetros analógicos foram registradas as temperaturas dos dois substratos. Ao compara-las verificou-se que não havia diferenças significativas entre os substratos, registrando-se temperaturas entre os 10 °C e os 28 °C, favoráveis ao crescimento das plantas de morangueiro.

3.5.3. Atividade fotossintética

O desempenho fotossintético das plantas ao tratamento da luz artificial e ao tipo de substrato foi analisado através da avaliação das trocas gasosas e do teor de clorofila das folhas.

Os parâmetros das trocas gasosas das plantas foram avaliados aos 60 dias após plantação (DAP), durante a floração e com tratamento de luz LED, e aos 160 DAP, em plena frutificação e já sem tratamento de luz LED. As medições foram efetuadas no período da manhã (10:00 – 12:00 h) em folhas adultas expandidas (9 plantas por tratamento) a uma irradiância de 600-700 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Por planta efetuaram-se três medições.

As taxas da fotossíntese líquida aparente (P_n), da condutância estomática (g_s) e da transpiração (E) foram determinadas com um analisador portátil de gases por infravermelhos (IRGA, Infra Red Gas Analyser, Li-Cor, 6400, Lincoln, USA) em sistema aberto, com uma câmara de 6 cm^2 e com sistema integral de luz LED azul-vermelho (Fig.4).



Figura 4 - Medição das trocas gasosas nas folhas de morangueiro, com o analisador portátil de gases por infravermelho (IRGA), efetuada no período da manhã (10 - 12h) em folhas adultas expandidas a uma irradiância de ca. 600-700 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

O teor de clorofila das folhas foi medido pelo índice de SPAD, utilizando um medidor portátil SPAD-502 (Minolta Camera Co, Osaka, Japão). Os valores de SPAD foram determinados nas mesmas folhas utilizadas para as determinações das trocas gasosas (folhas adultas). As leituras foram realizadas em três pontos distintos da face das folhas.

3.5.4. Análise do crescimento e desenvolvimento

A análise de crescimento das plantas ao longo do ciclo foi efetuada com objetivo de avaliar as diferenças do desempenho entre cultivares aos tratamentos aplicados.

Basearam-se na análise biométrica e na determinação da matéria seca dos diferentes órgãos da planta, recorrendo a análises destrutivas da planta, com medição das coroas, quantificação das estruturas vegetativas e reprodutivas da planta e medição da área foliar segundo Mendonça (1998).

Realizaram-se três avaliações ao longo do ciclo cultural, correspondente às seguintes fases do ciclo da planta: floração (53 DAP), plena frutificação (150 DAP); e fim da produção de frutos (178 DAP). As avaliações foram feitas em amostras de 3 plantas por tratamento, num total de 96 plantas.

O arranque das plantas foi feito aleatoriamente de modo a que representassem o tamanho medio por repetição.

As plantas foram arrancadas manualmente e com muito cuidado e trazidas para o laboratório para avaliação. O diâmetro das coroas de cada planta foi feito com uma craveira e em seguida separou-se as partes aéreas da parte subterrânea seccionando a planta ao nível da superfície do substrato. Na parte aérea, contabilizou-se o número de coroas, de folhas, de inflorescências, de flores por inflorescência e de frutos. A determinação da área foliar realizou-se apenas nas folhas fotossinteticamente ativas (cor verde) com um medidor de área foliar 'DELTA – T type WDIGC – 2'.

A determinação da matéria seca da parte aérea (folhas, coroas, flores e frutos verdes) e da parte subterrânea (raiz e coroa subterrânea) foi feita numa estufa de secagem com ventilação, a temperatura de 60 ° C até peso constante.

3.6. Análise da produção e produtividade

A colheita de frutos teve o seu início a 18 de fevereiro até dia 28 de maio, dia em que finalizamos o ensaio, colhendo duas vezes por semana, em 7 plantas por talhão.

A colheita foi sempre feita de manhã de modo a que o calor não afetasse a qualidade dos morangos, colhendo os frutos que estivessem a um nível de maturação comercial.

No laboratório, procedia-se à contagem e registo de peso dos frutos por repetição e calibre. A calibragem do fruto foi determinada pelo diâmetro máximo da secção equatorial de cada fruto e de acordo com as normas portuguesas do morango em fresco (NP2231), as quais se dividem em quatro classes de calibre: categoria extra (> 35 mm), categoria I II (entre 25 e 35 mm), categoria III (< 25 mm) e o refugo.

A pesagem foi feita com uma balança de precisão 0,01g 'Mettler'.

A produção de frutos por planta determinou-se pelo somatório da massa de fruta obtida em todas as colheitas ao longo do ensaio dividindo pelo número de plantas em cada parcela experimental. O peso medio de frutos foi obtido dividindo a massa total de frutos pelo número de frutos.

3.7. Análise da Qualidade do morango

Na qualidade do fruto, as análises físicas e químicas foram realizadas em amostras de 7 frutos, com 3 repetições, num total de 21 frutos/tratamento.

3.7.1. Peso e forma (C/L)

O peso do fruto foi avaliado individualmente numa balança digital de marca Kern e a sua forma através da medição do comprimento (C) e da largura (L) com o auxílio de uma craveira digital (Fig. 5). A forma foi determinada através da razão comprimento/largura.

3.7.2. Firmeza

A firmeza foi testada em cada fruto de cada um dos grupos, pelo aparelho digital The AGROSTA®100Field, sendo este composto por um sensor ligado à estrutura principal por um cabo. O sensor no caso dos morangos utiliza uma ponteira de 50, sendo que esta medição destrói o fruto.

3.7.3. Cor

Na determinação da cor foi utilizado o colorímetro Minolta CR 400. Foram realizadas duas leituras em partes opostas do fruto, segundo as coordenadas do sistema L^* , a^* , b^* , designadas por sistema de Hunter CIELAB (Commission Internationale de l'Eclairage, 1976). Em que L^* corresponde à luminosidade e representa a diferença entre claro ($L^*=100$) e escuro ($L^*=0$), sendo o valor 100 correspondente à cor branca e o valor 0 à cor preta. Os valores de a e b são uma forma de quantificar a característica cor, sendo que a^* varia entre verde ($-a^*$), vermelho ($+a^*$), e o 0 corresponde à cor cinza, correspondendo, portanto, à tonalidade e b^* , representa a diferença entre amarelo ($+b^*$) e azul ($-b^*$), que corresponde à saturação. O padrão branco para calibração foi standard.

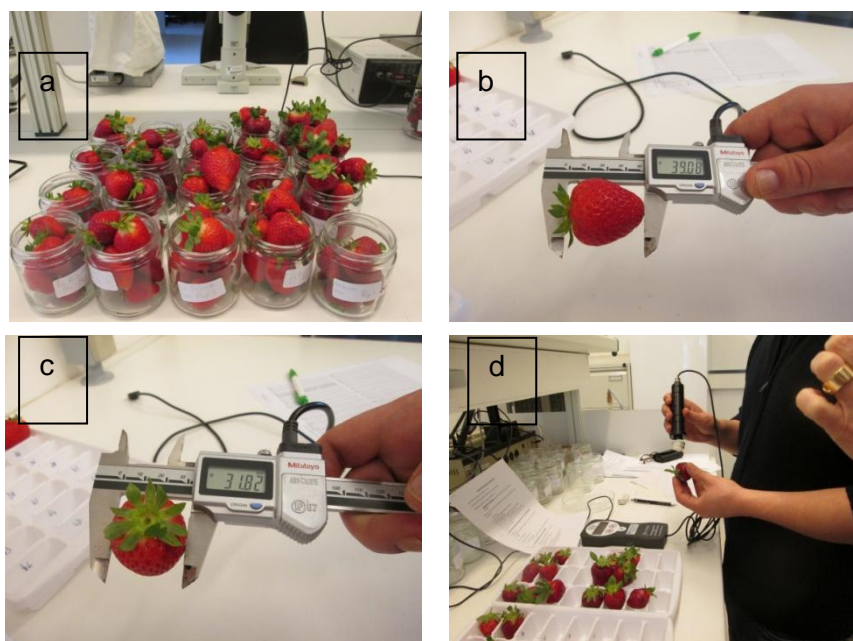


Figura 5 - Análise da qualidade de fruto: (a) amostras de frutos; (b) – medição do comprimento; (c) – medição da largura; (d) medição da firmeza.

3.7.4. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Para a determinação dos sólidos solúveis totais (SST) os frutos foram triturados e após a filtração do sumo mediu-se o teor dos SST num refratômetro HI96801.

3.7.5. Potencial de hidrogénio (pH)

A determinação do pH foi efetuada por potenciometria, da polpa obtida por trituração e filtragem utilizando o potenciômetro da Hanna Instruments (HI) pH Meter modelo 213.

3.7.6. Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada, segundo o procedimento descrito na norma (NP EN 12147,1999), que se baseia na titulação potenciométrica em meio aquoso, com solução 0,1N de hidróxido de sódio (NaOH). Os resultados calculados foram expressos em grama de ácido cítrico por 100 grama de fruto fresco.

$$\text{Eq: AT} = \{ (V_2 / V_1) * 100 \} * 0,07$$

Sendo:

V1 – o volume da toma para análise, expresso em mL.

V2 – o volume da solução de hidróxido de sódio gasto na determinação, expresso em mL.

3.8. Tratamento estatístico

O delineamento experimental de 3 fatorial (2x2x8) foi em *split split plot* com 3 repetições, sendo o fator principal a iluminação LED, o subfactor substrato e subfactor cultivar, com 21 plantas por tratamento. Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e seguidamente a um teste de comparações múltiplas de médias com $\alpha = 0,05$, utilizando o Teste de Tukey.

Relativamente ao tratamento estatístico da qualidade do morango, o mesmo seguiu um delineamento fatorial de 2 fatores ('cultivar' e 'substrato'). Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA), e posteriormente a um teste de comparações múltiplas de médias, utilizando o teste de diferença mínima significativa a um nível de significância de 5% (Teste de Tukey).

Para tratar estatisticamente os dados do ensaio foi utilizado o software Statistix 9 (Analytical software, Tallahassee, Florida).

4. Resultados e Discussão

4.1 Condições ambientais

O ensaio teve início no final de novembro 2014 e terminou no final de maio do ano seguinte.

Radiação PAR

A radiação PAR diária variou durante o crescimento vegetativo, a floração e frutificação das plantas. Na Figura 6 apresentam-se os valores diários da radiação PAR durante o período outono-inverno e primavera, correspondente aos dois períodos do ensaio em que no primeiro decorreu o tratamento com luz e no segundo já sem o tratamento de luz.

Os valores diários mais baixos ocorreram durante os meses de dezembro e janeiro, verificando-se que a radiação máxima registada entre as 13:00 e 14:00 h foi, de um modo geral, inferior a $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig.6). Durante as fases de floração e frutificação, os valores da radiação PAR foram aumentando, atingindo, por vezes, em alguns dias valores de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

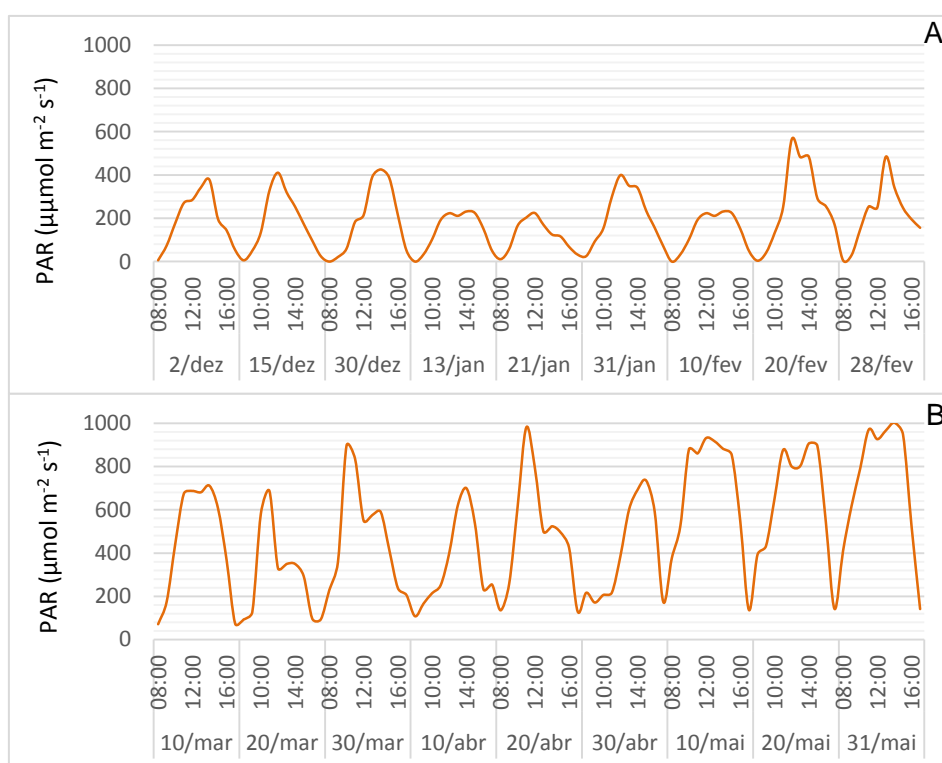


Figura 6 - Variação diária da radiação PAR, medições quinzenais no setor L0, durante a fase de crescimento vegetativo e início de floração (A) e durante a floração e frutificação (B).

Temperatura e humidade relativa do ar

Os morangueiros foram sujeitos até janeiro a temperaturas decrescentes, tendo as mesmas vindo a aumentar até ao final do ensaio (Fig.7). A temperatura média no local de plantação ao longo da campanha rondou os 14 ° C e os 21 ° C. A temperatura média mínima foi de 8,16 ° C em janeiro, e a máxima foi 29,6 ° C em abril. (Anexo I, Quadro 10).

Heide (1977) verificou que temperaturas entre os 12 ° C e os 18 ° C favorecem a floração do morangueiro e o intervalo entre 20 ° C e 24 ° C favorece o desenvolvimento foliar e frutificação, e que acima de 24 ° C é favorecida a emissão de estolhos.

Devido ao sistema de climatização programado (aquecimento para $t < 7^{\circ}\text{C}$ e arrefecimento $t > 30^{\circ}\text{C}$), existente na estufa foi possível manter as temperaturas médias necessárias ao normal desenvolvimento da cultura.

Relativamente à humidade relativa registou-se no interior da estufa o máximo 88,6% no mês de janeiro e o mínimo de 31,4% em março (Fig.8). A humidade relativa média ao longo do ensaio foi entre 57% e 73%. A diminuição da humidade relativa nos últimos três meses do ensaio levou a uma diminuição da incidência de oídio e podridão cinzenta.

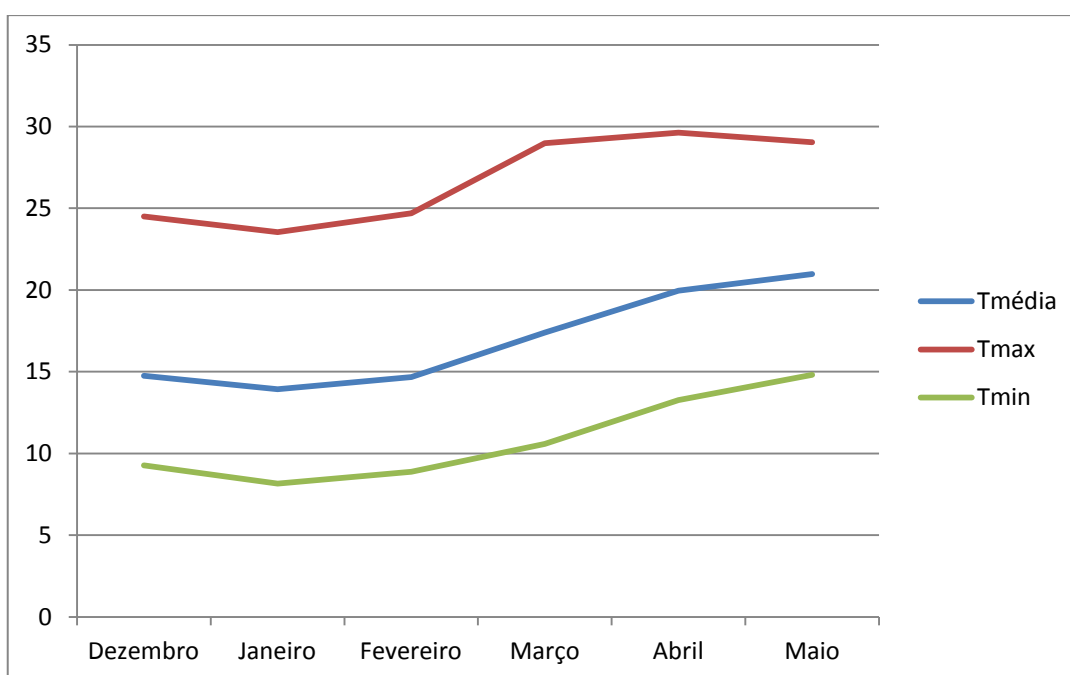


Figura 7 - Valores da temperatura máxima, mínima e média no interior da estufa no interior da estufa durante o ensaio.

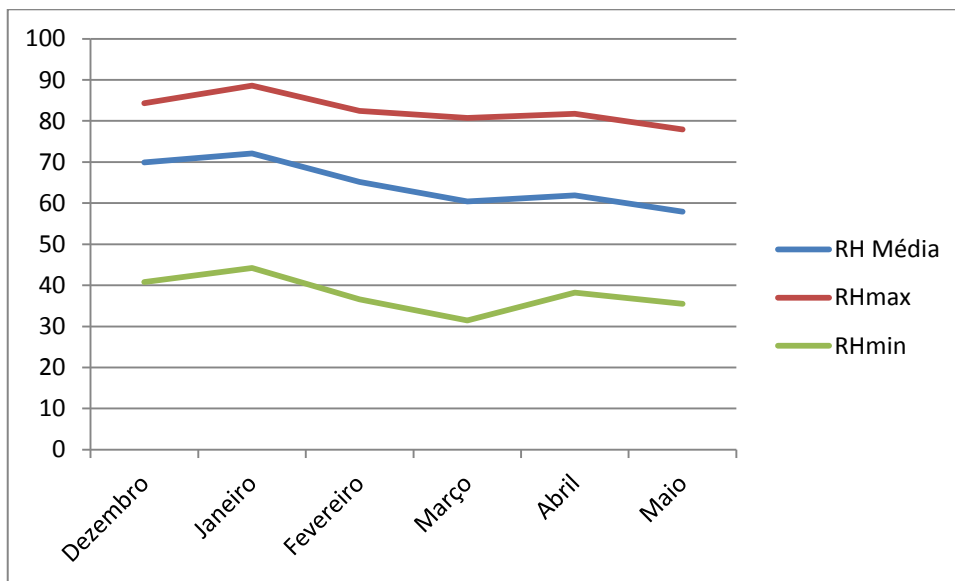


Figura 8 - Valores de umidade relativa, máxima, mínima e média no interior da estufa durante o ensaio.

4.2 Avaliação da atividade fotossintética

As taxas da fotossíntese líquida aparente (P_n), da condutância estomática (g_s) e da transpiração (E) foram determinadas durante a floração (60 DAP) com o sistema de iluminação LED acionado e durante a fase de plena frutificação (160 DAP) com o sistema de iluminação LED desligado.

Comparando o desempenho fotossintético entre plantas L1 e L0 durante a floração constatou-se que as plantas sujeitas à luz LED apresentaram maiores taxas de P_n (valor médio $13,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e menores taxas de E (valor médio $2,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação às plantas controlo ($P_n \text{ média}=12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $E \text{ média}=2,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A condutância estomática foi semelhante entre os tratamentos de luz (Fig. 9).

Como se pode ver na figura 10 estes parâmetros foram afetados de forma diferente entre cultivares e substratos. Com luz adicional, a taxa fotossintética aumentou sobretudo nas cultivares 'Albion', 'Merced', 'Rabida' cultivadas nos dois substratos e nas 'Splendor' e 'Liberty' cultivadas no substrato M1. Ao nível da condutância estomática, observaram-se algumas flutuações, mantendo-se em geral os valores médios elevados (ca. $230 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), não limitando o desempenho fotossintético das plantas.

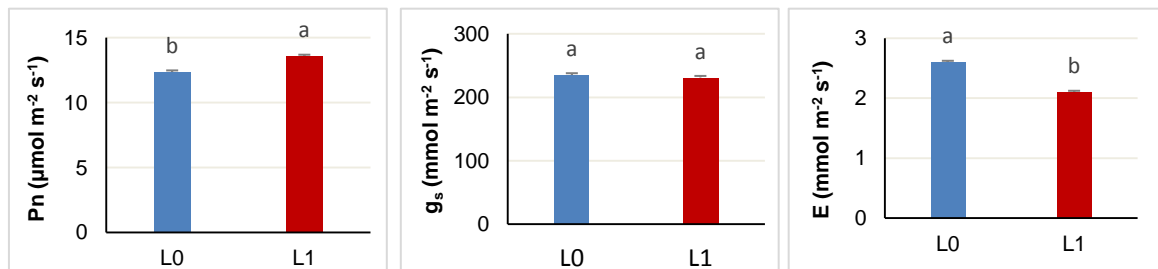


Figura 9 - Comparação das taxas de fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) nas plantas sujeitas a luz LED e sem luz, 60 DAP.

Entre cultivares, verificou-se que os maiores valores de P_n ocorreram na 'Camarosa', seguida das cultivares 'Splendor', 'Reliance', 'Merced' e 'Albion' e os menores nas cultivares 'Rabida', Liberty e 'San Andreas'.

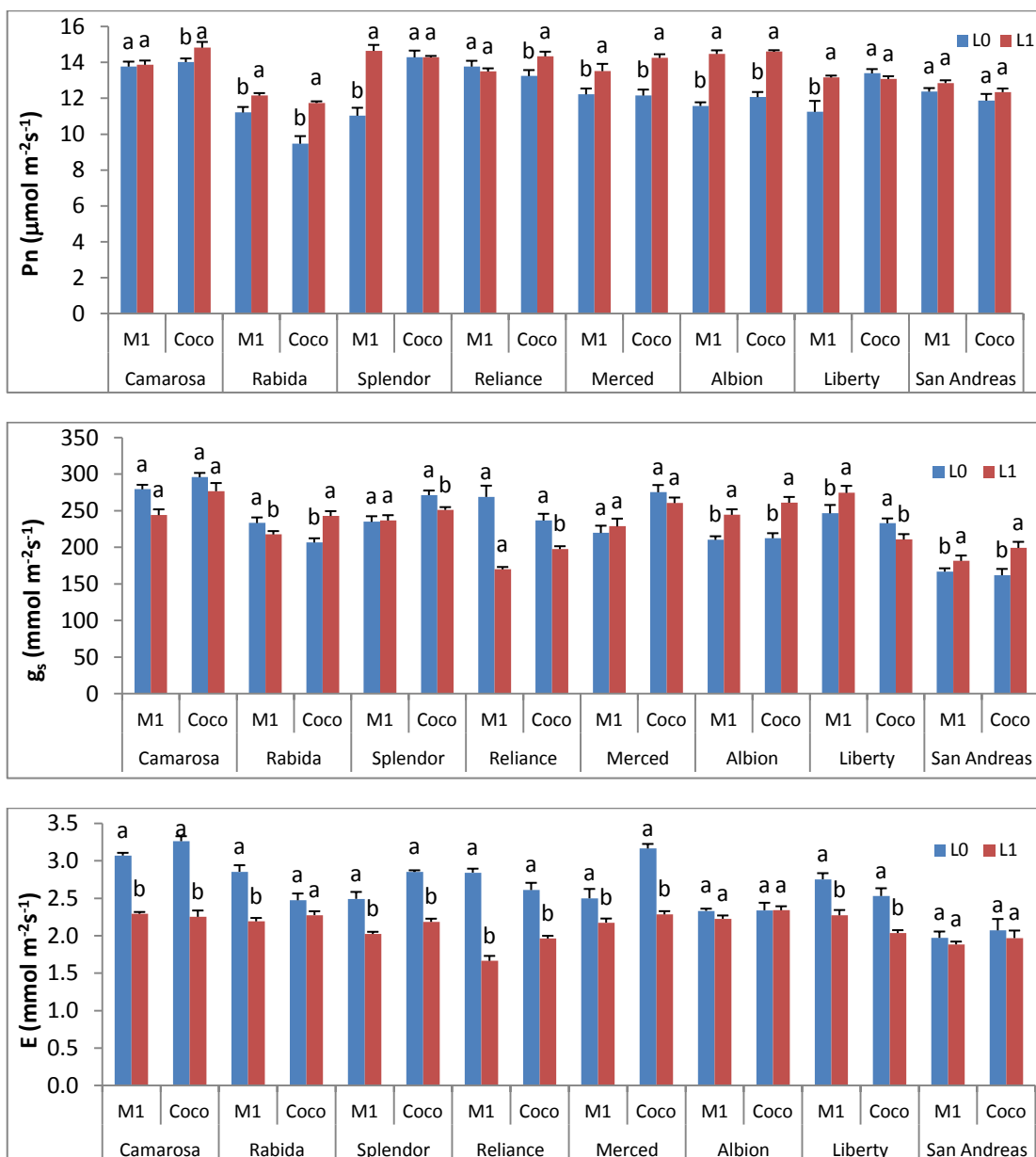


Figura 10 - Influência da luz LED na fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) das cultivares de morangueiro cultivadas em substrato M1 e Coco, na floração. Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre L0 (sem luz) e L1 (com luz) para o mesmo tipo de substrato.

Na maioria das cultivares cultivadas em ambos os substratos os valores de condutância estomática e de transpiração foram maiores nas plantas sem iluminação.

Na fase de plena frutificação, os valores de P_n decresceram, sendo similares nas plantas L0 e L1, respetivamente 11,2 e 11,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 11). A condutância estomática e a transpiração foram maiores nas plantas L0.

A taxa fotossintética variou entre cultivares e tipo de substrato (Fig. 12). Apesar dos níveis crescentes de radiação solar a partir de março, esta fase coincidiu com dias em que as temperaturas máximas variaram entre 30-35 °C, o que pode ter conduzido a esta redução. Regimes de temperatura alta (40 °C dia/35 °C noite) contribuem mais

para a redução da fotossíntese que as temperaturas moderadas ou baixas (30/25 ou 20/15 °C). Com efeito, comparando os dois períodos de avaliação fotossintética, a Pn decresceu em todas as cultivares de 13,0 (média) para 11,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (média).

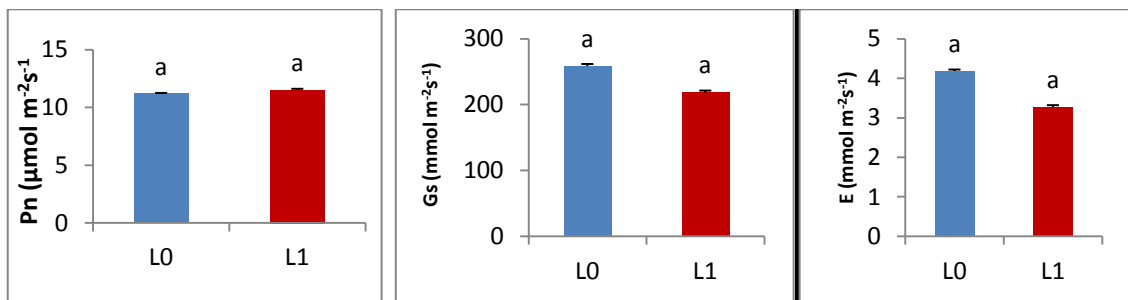


Figura 11 - Comparação das taxas de fotossíntese líquida (Pn), condutância estomática (gs) e transpiração (E), nas plantas sujeitas a luz LED e sem luz, 160 DAP.

Comparando a fotossíntese líquida entre as cultivares verifica-se que os maiores valores de P_n ocorreram na ‘Merced’ e ‘Splendor’ (valor médio de 12,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) seguida da ‘Albion’, ‘Camarosa’, ‘Liberty’, ‘Reliance’ e ‘San Andreas’ (valor médio de 11,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A cv. Rabida apresentou mais uma vez menor taxa de fotossíntese líquida (valor médio 9,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

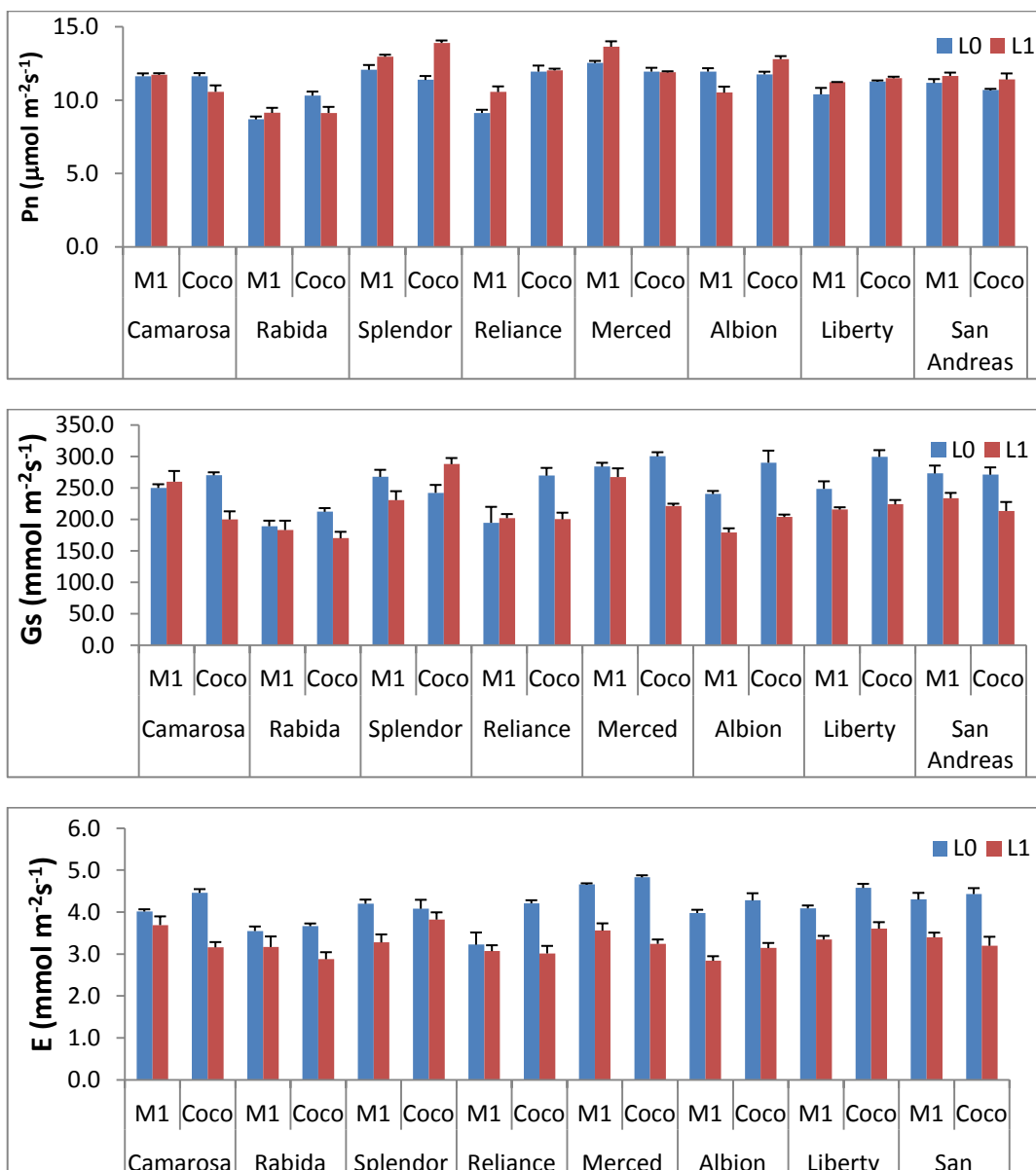


Figura 12 - Influência da luz LED na fotossíntese líquida (Pn), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) das cultivares de morango cultivadas em substrato M1 e Coco, em plena frutificação. Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas (P<0,05) entre L0 (sem luz) e L1 (com luz) para o mesmo tipo de substrato.

Na floração, o teor de clorofilas nas folhas, medido pelo índice de SPAD, não foi influenciado pelos tratamentos de luz e substrato. O teor de clorofilas foi similar entre cultivares (52,9), à exceção da 'Rábida', que apresentou os valores mais baixos (43,9) (Fig.13). Em plena frutificação, as cultivares 'Reliance' e 'Splendor' apresentaram teores de clorofila superiores e as cultivares 'Camarosa' e 'Rabida' apresentaram os menores valores.

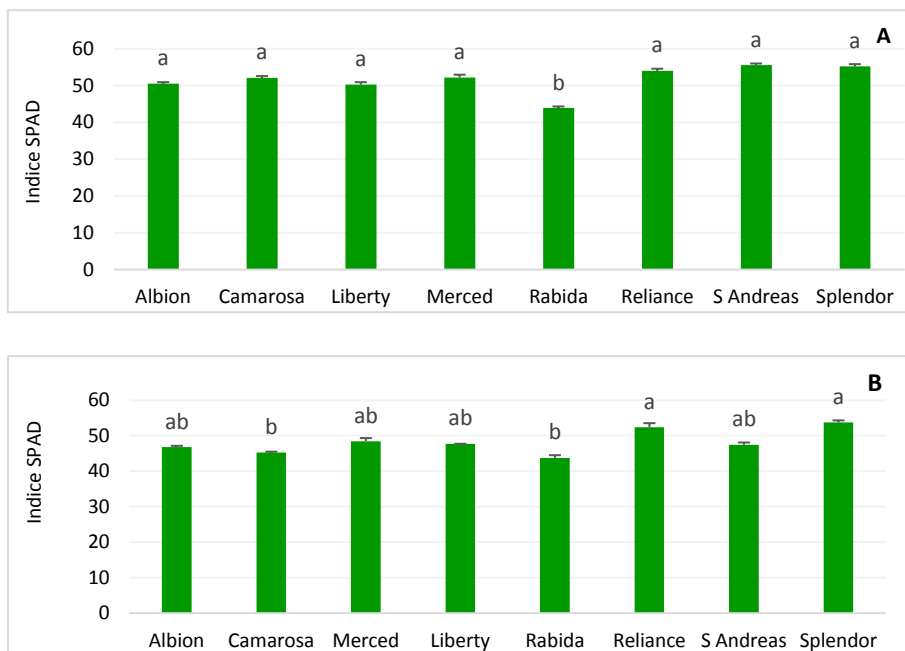


Figura 13 - Teor de clorofilas (Índice SPAD) das diferentes cultivares ensaiadas, na floração (A) e em plena frutificação (B). Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre cultivares.

4.3 Avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas

A avaliação de crescimento das plantas ao longo do ciclo foi efetuada com objetivo de avaliar as diferenças do desempenho entre cultivares aos tratamentos aplicados, ou seja, ao suplemento da luz artificial e ao substrato.

Realizaram-se três avaliações ao longo do ciclo cultural, correspondente às seguintes fases do ciclo da planta: floração (53 DAP), plena frutificação (150 DAP); e fim da produção de frutos (178 DAP). Como as duas últimas datas são muito próximas as diferenças relativamente aos dados biométricos serão praticamente nulas nos seguintes parâmetros, diâmetro das coroas, número de coroas, número de folhas, inflorescências e número de flores, razão pela qual apenas os dados da primeira e da última data irem ser avaliados a seguir.

Em ambas as avaliações 53, e 178 DAP, não se encontraram diferenças significativas no diâmetro das coroas, número de coroas e número de folhas em relação aos tratamentos de luz e de substrato, tendo-se verificado apenas diferenças entre cultivares (Quadros 3 e 4).

Quadro 3 - Efeito da iluminação (L0 – sem e L1- com luz), do substrato e cultivar no diâmetro de coroa, no número de coroas e de folhas, aos 53 e 178 dias após a plantação (DAP).

Tratamentos	Diâmetro de coroa (mm)		Número de coroas		Número de folhas	
	53 DAP	178 DAP	53 DAP	178 DAP	53 DAP	178 DAP
Iluminação						
L1	12,5	41,7	1,0	2,8	4,3	21,0
L0	12,5	38,3	1,2	2,9	4,4	20,9
<i>Prob.</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
Substrato						
M1	12,2	41,6	1,1	2,9	4,5	21,3
Coco	12,5	38,4	1,1	2,8	4,2	20,6
<i>Prob.</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
Cultivar						
Albion	11,1 BC	40,7 AB	1,0 B	3,1 AB	3,3 D	16,1 CD
Camarosa	15,4 A	53,4 A	1,4 A	3,4 AB	5,5 A	28,8 A
Liberty	11,3 BC	46,4 AB	1,0 B	4,1 AB	4,3 ABCD	24,8 ABC
Merced	10,2 C	34,5 B	1,0 B	2,4 B	5,2 AB	21,3 ABCD
Rabida	12,1 ABC	43,2 AB	1,1 B	3,3 AB	4,7 ABC	26,5 AB
Reliance	11,2 BC	34,4 B	1,3 AB	2,3 B	4,3 BCD	18,0 BCD
San Andreas	14,0 AB	36,5 B	1,1 B	2,3 B	4,0 BCD	17,9 BCD
Splendor	9,6 C	31,1 B	1,0 B	1,9 B	3,5 CD	14,3 D
<i>Prob.</i>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Quadro 4 - Efeito da iluminação (L0 – sem e L1- com luz), do substrato e cultivar no número de inflorescências e de flores por planta, aos 53 e 178 dias após a plantação (DAP).

Tratamentos	Número de inflorescências		Número flores	
	53 DAP	178 DAP	53 DAP	178 DAP
Iluminação				
L1	1,3	8,0	4,2	4,23
L0	1,2	8,7	4,0	46,3
<i>Prob.</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
Substrato				
M1	1,2	8,4	4,4	46,1
Coco	1,3	8,2	3,9	42,4
<i>Prob.</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
Cultivar				
Albion	1,0	7,3 BC	3,3ABC	28,1 B
Camarosa	1,5	12,0 A	6,4 A	70,1 A
Liberty	1,5	7,3 BC	3,6 ABC	30,7 B
Merced	1,0	8,1 BC	2,3 BC	44,5 B
Rabida	1,2	10,6 AB	6,5 A	77,4 A
Reliance	1,4	8 BC	3,3 ABC	29.1 B
San Andreas	1,3	7,2 BC	5,8 AB	38,7 B
Splendor	1,1	6,3 C	2,0 C	35,8 B
<i>Prob.</i>	<i>NS</i>	<0,001	<i>NS</i>	<0,001

A cultivar que produziu coroas com maior diâmetro foi a ‘Camarosa’ em ambas as fases. Na primeira fase as cultivares que produziram coroas com menor diâmetro foram a ‘Merced’ e a ‘Splendor’. Na segunda fase as diferenças entre cultivares diminuíram tendo assim, tendo então produzido coroas com menor diâmetro as seguintes cultivares: ‘Merced’, ‘Splendor’, ‘Reliance’ e ‘San Andreas’.

A produção do maior número de coroas na primeira fase, foi alcançado pela 'Camarosa' seguida da 'Reliance', e as restantes cultivares não apresentaram diferenças entre si. Na segunda fase também não houve grandes diferenças entre as cultivares tendo produzido mais coroas as seguintes cultivares: 'Albion', 'Camarosa', 'Liberty' e 'Rábida'.

Quanto ao número de folhas produzidas, a 'Camarosa' produziu mais em ambas as fases. A cultivar que produziu menos folhas na primeira fase foi a 'Albion' e na segunda foi a 'Splendor'.

Na primeira fase de avaliação não se verificaram diferenças quanto ao número de inflorescências produzidas entre cultivares. Já na segunda pode-se verificar que a 'Camarosa' produziu maior número de inflorescências, tendo produzido menos as cultivares 'Reliance' e 'Splendor'.

Em ambas as fases as cultivares que produziram maior número de flores foram a 'Rábida' e a 'Camarosa'. Apenas na primeira fase se destaca uma cultivar pela pequena produção de flores sendo esta a 'Splendor'.

Na avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas, ainda teremos em conta a área foliar e a matéria seca, nas quais as três datas de colheita já serão avaliadas, por haver diferenças significativas (Anexo 2, Quadros 11, 12 e 13).

Na floração e ainda com o tratamento de luz LED (53 DAP), a área foliar das plantas sujeitas à luz LED foi semelhante à das plantas sem luz, o mesmo se verificando entre plantas nos dois tipos de substrato (Fig. 14). A cv. Camarosa apresentou a maior área foliar seguida da 'Rábida' e a menor área foliar ocorreu na 'Splendor'. Entre as indiferentes, a 'San Andreas' desenvolveu uma maior área foliar.

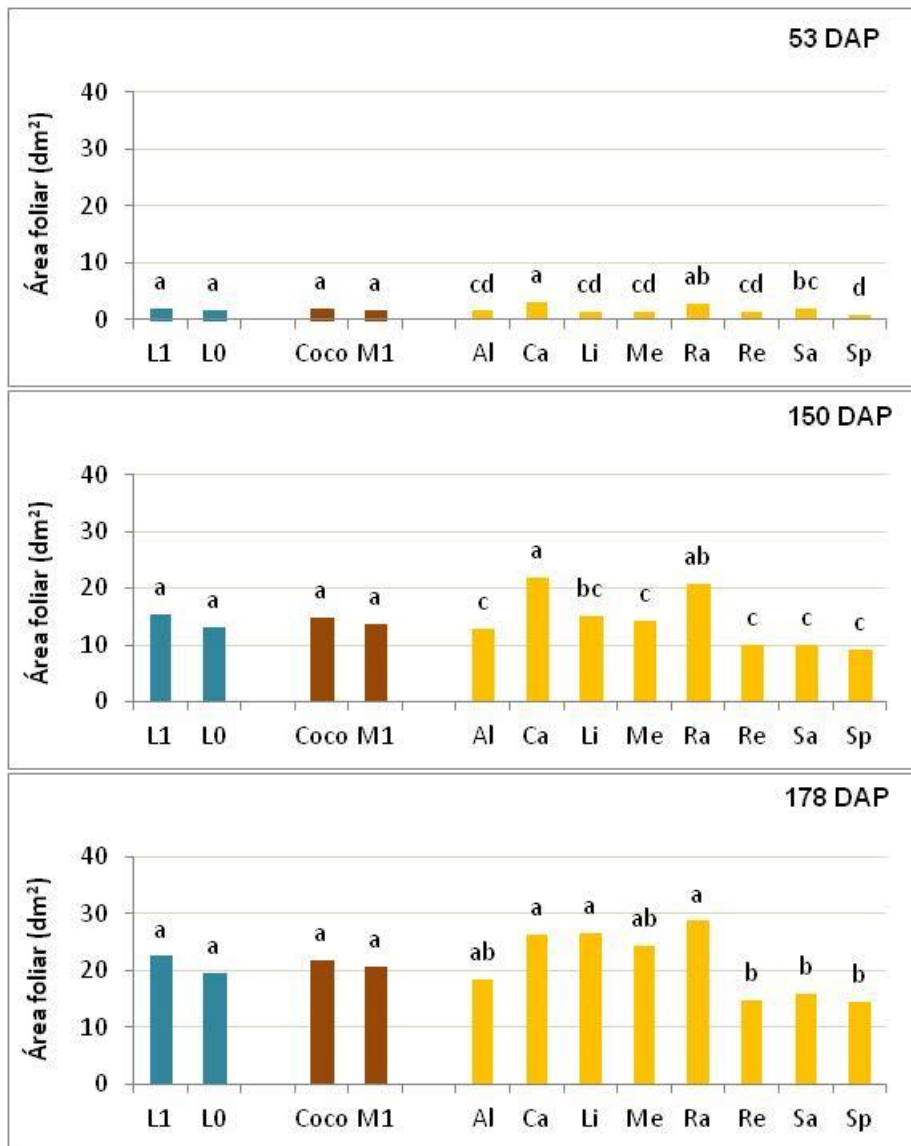


Figura 14 - Influência da luz LED (L1e L0 – com e sem luz), do substrato (Coco – fibra de coco e M1 – mistura de substratos) e da cultivar (Al – Albion, Ca- Camarosa, Li – Liberty, Me – Merced, Ra – Rabida, Re – Reliance, Sa – San Andreas e Sp – Splendor) na área foliar por planta, aos 58, 150 e 178 DAP. Por tratamento, barras com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).

Ao longo do ciclo vegetativo, verificou-se que as plantas sujeitas à luz LED suplementar mostraram uma tendência para desenvolverem uma maior área foliar em relação às sem luz (Fig. 14). Observou-se, igualmente, uma tendência para o substrato coco induzir a um ligeiro incremento da área foliar das plantas, o que está de acordo com os resultados obtidos por Lisboa (2017).

Comparando as duas datas de amostragem, 150 e 178 DAP, verificou-se um aumento acentuado da área foliar no final do ensaio devido à cessação da produção de frutos, canalizando a planta os fotoassimilados para a produção de folhas. Os dias longos e o aumento da temperatura do ar em maio inibiram a floração e favoreceram novamente o crescimento vegetativo.

Na fase da plena frutificação (150 DAP) as maiores áreas foliares apresentadas pelas cultivares Camarosa e Rábida mostraram um efeito diferente na produtividade da planta. Na 'Rabida', as maiores áreas foliares traduziram-se numa maior eficiência da deslocação dos assimilados para os frutos, o que conduziu a uma maior produtividade, o mesmo não ocorrendo com a 'Camarosa'.

A quantidade de radiação solar intercetada e a eficiência da sua utilização pelo coberto vegetal influenciam diretamente a acumulação de matéria seca total numa cultura (Flore e Layne, 1999).

Na acumulação da matéria seca total verificou-se que este parâmetro não foi influenciado pelo tratamento da luz, em qualquer das datas de amostragem (Fig. 15). Pelo contrário, o substrato de coco conduziu a uma maior acumulação da matéria seca total em relação ao substrato M1, aos 150 e 178 DAP.

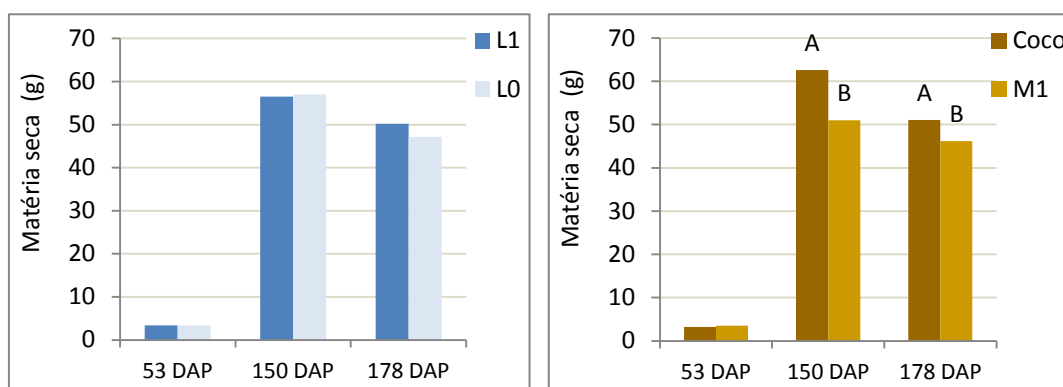


Figura 15 - Evolução da matéria seca total da planta em relação ao efeito da luz LED (L1 – com e L0 – sem luz) e do substrato (Coco – fibra de coco e M1 – mistura de substratos). Por tratamento, barras com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).

Nas diferentes datas de amostragem, observaram-se diferenças acentuadas entre as cultivares na acumulação da matéria seca (Fig. 16).

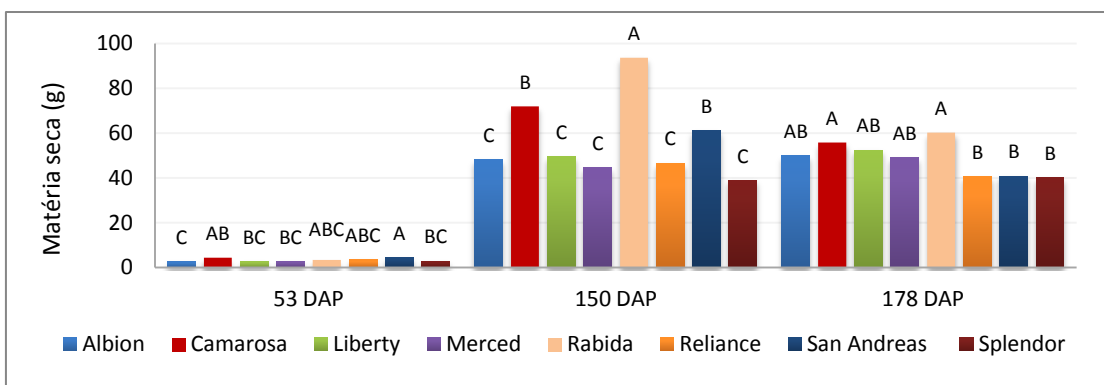


Figura 16 - Evolução da matéria seca total da planta em relação às cultivares de morangueiro (Al – Albion, Ca- Camarosa, Li – Liberty, Me – Merced, Ra – Rabida, Re – Reliance, Sa – San Andreas e Sp – Splendor). Por tratamento, barras com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).

Aos 53 DAP, a partição da matéria seca foi maioritariamente para as raízes, coroas, folhas e flores (Fig. 17) e foi semelhante entre os tratamentos de luz e substrato, o mesmo não se verificando entre as cultivares. Nesta fase, verificou-se que cerca de 50% da matéria seca se encontra alocada nas raízes, o que está de acordo com os resultados obtidos por outros autores nesta cultura em substrato (Palha *et al.*, 2012; Lisboa, 2017).

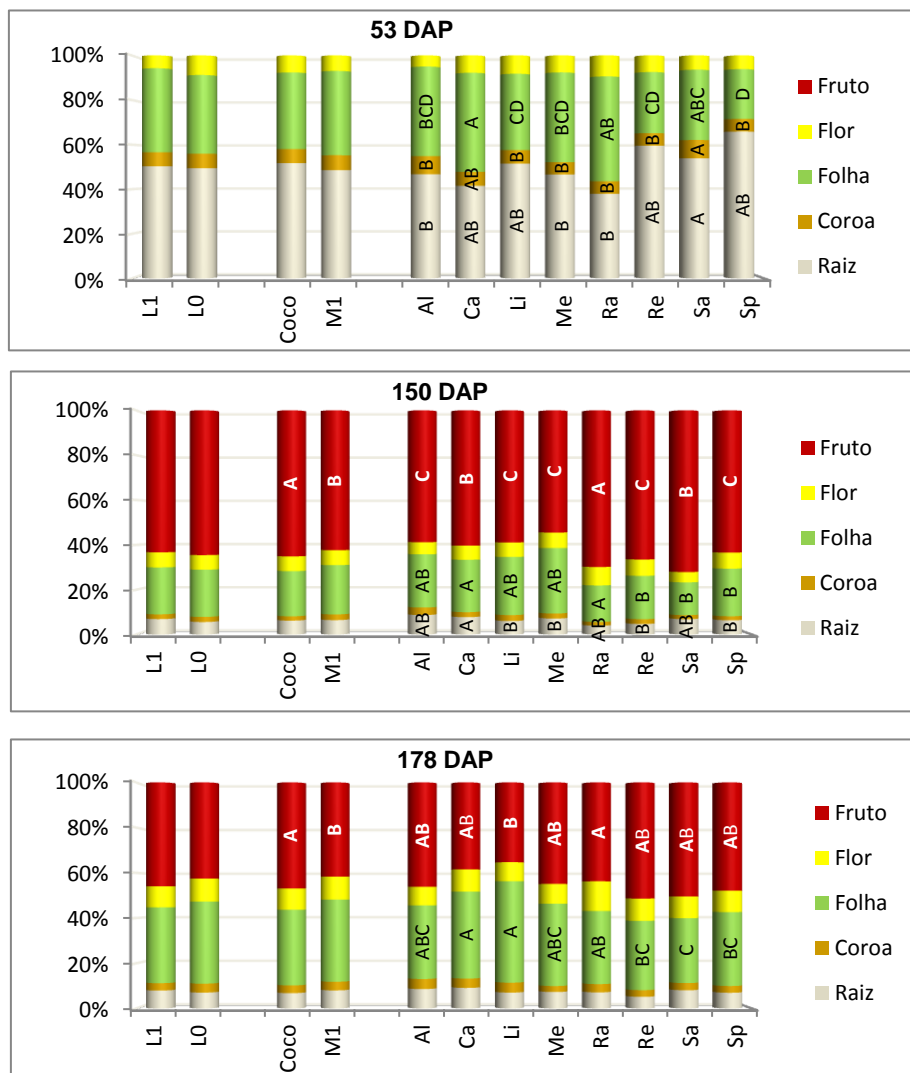


Figura 17 - Evolução da partição da matéria seca pelos diferentes órgãos da planta em relação à luz LED (L1 – com e L0 - sem), ao substrato (Coco – fibra de coco e M1 – mistura de substratos) e à cultivar (Al – Albion, Ca- Camarosa, Li – Liberty, Me – Merced, Ra – Rabida, Re – Reliance, Sa – San Andreas e Sp – Splendor). Por tratamento, barras da mesma cor com letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$).

À medida que a planta passou da fase vegetativa para a reprodutiva, houve uma maior alocação da biomassa para os frutos, com diferenças significativas entre os substratos e as cultivares (Fig. 17). O substrato de coco conduziu a uma maior alocação da

matéria seca para os frutos enquanto nas cultivares as diferenças na partição da MS se verificaram entre as folhas e frutos.

4.4 Análise quantitativa da produção

4.4.1 Produção precoce e produção total

A produção precoce (o somatório do peso dos frutos colhidos por planta de fevereiro a março) é afetada pelas características próprias da cultivar, clima, época de plantação e pela qualidade das plantas vindas do viveirista (Carbonari, 1978)

Na produção precoce, verificou-se o efeito do tratamento de luz, e da cultivar, mas não se verificou efeito dos substratos (Quadro 5).

Quando comparada a produção precoce no que diz respeito ao tratamento de luz, verificou-se que as plantas que não receberam tratamento de luz produziram mais.

Quanto ao efeito da cultivar, verificou-se que a cultivar com maior produção precoce foi a 'Rábida', e que a 'Merced' e a 'Splendor' foram as que produziram menos.

Na produção total, verificou-se a influência dos fatores 'cultivar' e 'substrato', não se tendo verificado a influência do tratamento de luz. Numa abordagem mensal também se verificou a influência do fator 'substrato' nos meses de abril e maio, já ao nível do fator 'cultivar', apenas se verificou influência do mesmo no mês de abril. A inexistência de diferenças significativas ao nível da produção no mês final do ensaio pode dever-se à prostração das cultivares mais produtivas.

O substrato com melhores resultados ao nível da produção total foi o substrato de Coco.

Relativamente ao fator 'cultivar', verificou-se que a cultivar mais produtiva no final do ensaio foi a 'Rábida', tal como na produção precoce e no mês de abril. Tal resultado já era de esperar, pois os resultados das análises biométricas e matéria seca, assim o indicavam. Esta cultivar, apresentou os melhores resultados relativamente ao número total de flores e do peso seco dos frutos. A cultivar que se evidenciou menos produtiva foi a 'Splendor'.

Quadro 5 - Efeito do tratamento de luz na produção total, precoce (fevereiro + março), abril e maio.

Tratamento	Produção (g/planta)							
	fev+março			abril		maio		total
LEDs								
L0	124,1	A	309,0		224,2		658,5	
L1	96,4	B	301,8		252,9		652,7	
Prob.	0,007		0,633		0,090		0,850	
Substrato								
Coco	119.3		344,4	A	257,3	A	723,3	A
M1	101.3		266,4	B	219,7	B	587,8	B
Prob.	0,0738		<0,000		0,027		<0,000	
Cultivares								
Albion	83.6	CD	245,0	CD	228,0		602,6	BC
Camarosa	127.3	BC	345,8	B	296,6		713,2	B
Liberty	93.1	CD	238,4	CD	216,3		531,9	BC
Merced	37.1	D	231,5	D	228,7		524	BC
Rábida	232.3	A	537,8	A	262,9		1070	A
Reliance	67.1	CD	289,2	BCD	236,2		596,5	BC
San Andreas	187.9	AB	329,0	BC	199,5		709,1	B
Splendor	53.9	D	226,4	D	240,1		497,2	C
Prob	<0,000		<0,000		0,151		<0,000	

Prob $\geq 0,5$ Não significativo; N= 3 plantas por tratamento, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes

4.4.2 Produção por calibre

A definição do calibre dos frutos é importante para a valorização dos mesmos nos mercados, sendo assim nos morangos estão definidas 4 categorias, > 35 mm, 35-25 mm, < 25mm e o refugo. Sendo que o refugo são os frutos não comercializáveis, as 3 restantes categorias fazem a totalidade dos frutos comercializáveis.

O substrato de Coco induziu frutos maiores que o substrato M1. As cvs. Albion e San Andréas produziram o maior tamanho de frutos. Todas as cultivares produziram maior percentagem de tamanho de fruto > 35 mm e tamanho 25-35 mm em relação à cultivar padrão Camarosa (Quadro 6).

Quadro 6 - Influência dos fatores substrato e cultivar, no peso médio dos frutos comercializáveis.

Frutos comercializáveis (g)	
Substrato	
Coco	19.8 a
M1	17.3 b
Cultivar	
Albión	23.1 a
Camarosa	16.4 de
Liberty	16.8 cde
Merced	16.1 de
Rabida	21.0 abc
Reliance	18.5 bcd
San Andreas	22.5 ab
Splendor	13.9 e

Prob $\geq 0,5$ Não significativo; N= 3 plantas por tratamento, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

4.5. Análise qualitativa da produção

A qualidade pode ser expressa por um conjunto de propriedades e características físicas e químicas que determinam o grau de excelência e o nível de satisfação do consumidor. Relativamente às características físicas e químicas, as mesmas foram analisadas quanto à influência do substrato e da cultivar.

4.5.1. Análise das características físicas dos frutos

No âmbito das características físicas foram analisados o peso, forma (C/L), tamanho, firmeza e a cor (Anexo 4, Quadro 15).

O peso foi a única característica física a sofrer influência significativa do substrato, verificando-se que foi no substrato de coco que se produziram frutos com mais peso (Fig. 18).

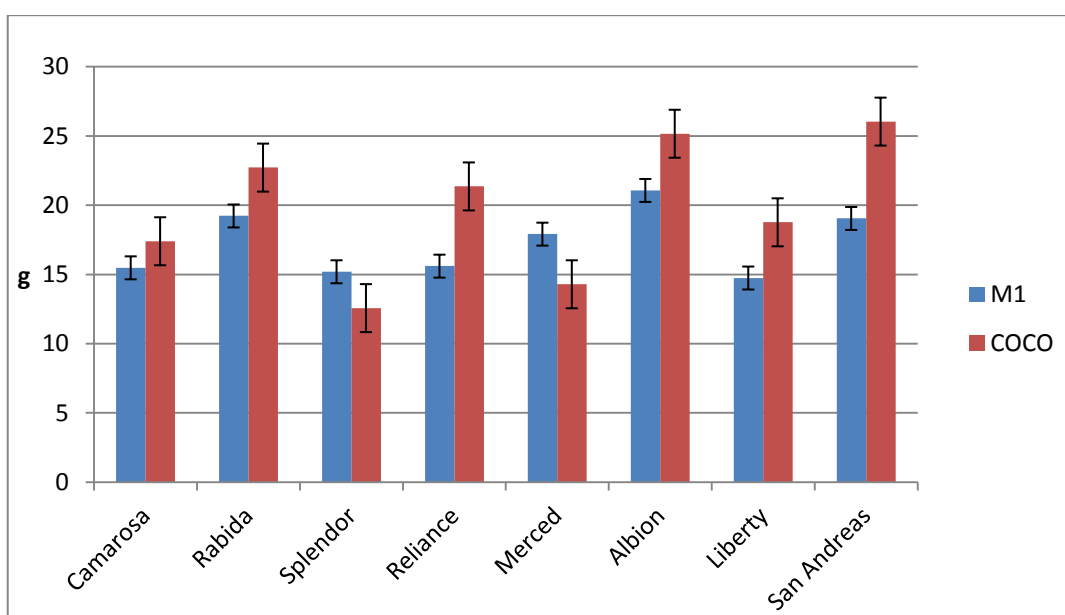


Figura 18 - Efeito do substrato e da cultivar no peso dos frutos.

Todas as características físicas foram influenciadas pelo fator cultivar.

Relativamente ao peso, a cultivar que produziu frutos com maior peso foi a 'Albión' seguida da 'San Andrés', e a cultivar que produziu frutos com menor peso foi a 'Splendor'.

Quanto à forma, quando a razão entre o comprimento e a largura se aproxima de 1, mais arredondados são os morangos, assim sendo através da análise, verificou-se que os frutos menos arredondados (com razão maior) foram as cultivares 'Albión' e 'San Andrés', e a mais arredondada (C/L=1) foi a 'Splendor'.

Na característica firmeza, verificou-se que a cultivar 'Liberty' produziu frutos que apresentaram maior grau de dureza. E de entre os menos firmes evidenciaram-se a 'San Andrés', 'Albión', 'Reliance' e 'Splendor'.

Os frutos mais compridos foram produzidos pelas cultivares 'Rábida' e 'Liberty', e os mais curtos, foram produzidos pela 'Camarosa' e pela 'Albión'.

Quanto à cor, os frutos que evidenciaram a tonalidade mais clara (apresentaram valores mais altos) foram os produzidos pela cultivar ‘Liberty’, já os que apresentaram os valores mais baixos (cor mais escura) foi a ‘Camarosa’ e logo de seguida a ‘Albion’. Os frutos que apresentaram os maiores valores de saturação e luminosidade foram os da cvs. Rábida, San Andréas e Liberty (Quadro 7). No ensaio realizado por Lisboa (2017), a cv. Camarosa foi também a que se evidenciou como mais escura, tal como a cv. Rábida evidenciou um vermelho intenso/alaranjado.

Quadro 7 - Influência do fator cultivar nas características físicas, peso, forma, dureza, comprimento, tonalidade e saturação.

Tratamento	Peso		Forma		Dureza		L		a*		b*	
	(g)		(C/L)									
Cultivares												
Rabida	21,0	ABC	1,2	B	63,6	B	32,8	A	24,8	ABC	35,7	A
Camarosa	16,4	DE	1,1	BC	63,5	B	27,7	C	20,7	E	29,7	BC
San Andreas	22,5	AB	1,3	A	55,5	C	31,5	AB	23,5	CD	34,6	A
Albion	23,1	A	1,3	A	53,8	C	28,6	C	22,8	D	28,8	C
Reliance	18,5	BCD	1,0	D	55,0	C	31,5	AB	25,4	AB	29,4	BC
Liberty	16,8	CDE	1,1	BC	70,9	A	32,7	A	25,7	A	34,1	A
Merced	16,1	DE	1,1	CD	66,4	AB	31,0	B	23,5	CD	31,3	B
Splendor	13,9	E	1,0	D	57,4	C	31,2	AB	23,9	BCD	29,3	BC
Prob	≤0,000		≤0,000		≤0,000		≤0,000		≤0,000		≤0,000	

Prob ≥0,5 Não significativo; N= 21 morangos por substrato e 42 por cultivar, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

4.5.2. Análise das características químicas dos frutos

As características químicas analisadas, neste ensaio foram o teor de sólidos solúveis estimados em °Brix, a acidez titulável e o pH. Todas estas características evidenciaram influência significativa do substrato e das cultivares (Anexo 4, Quadro 16).

Relativamente à influência dos substratos, verificou-se que o substrato M1 levou à produção de frutos com maior °Brix e mais acidez. Relativamente ao pH foi no substrato de Coco que se atingiram os maiores valores (Quadro 8).

Quadro 8 - Influência do fator substrato nas características químicas, ° Brix, Acidez titulável e pH.

Tratamento	Brix		Acidez		pH	
Substrato						
Coco	7,8	B	8,8	B	3,50	A
M1	8,1	A	9,4	A	3,48	B
Prob.	0,257		≤0,000		≤0,004	

Prob ≥0,5 Não significativo; N= 3 sumos de 7 morangos cada por substrato e cultivar, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

Quanto à influência do fator 'cultivar', pode dizer-se que relativamente ao teor de sólidos solúveis, a cultivar que produziu frutos com maior °Brix foi a 'Albióñ', e com menor foi a 'Reliance'.

Relativamente à acidez titulável a cultivar que apresentou frutos com valores mais altos foi a 'Liberty', e a que apresentou menores valores foi a 'Rábida'.

Os frutos que apresentaram os valores mais altos de pH, foram os da cultivar 'Albióñ', 'Camarosa' e 'Rábida', e o que apresentou valores mais baixos foi da 'Liberty' (Quadro 9). No ensaio realizado por Lisboa (2017), a cv. Rábida alcançou valores similares nas características químicas principalmente no pH.

Quadro 9 - Efeito das cultivares nas características químicas, ° Brix, Acidez titulável e pH.

Tratamento	Brix		Acidez		pH	
Cultivares						
Rabida	8,2	AB	7,6	E	3,5	A
Camarosa	7,9	ABC	8,6	D	3,6	A
San Andreas	7,7	ABC	9,1	CD	3,5	B
Albion	8,5	A	9,0	CD	3,6	A
Reliance	7,0	C	9,1	CD	3,4	BC
Liberty	7,6	BC	10,2	A	3,4	C
Merced	8,2	AB	9,3	BC	3,5	BC
Splendor	8,3	AB	9,9	AB	3,5	BC
Prob	0,000		≤0,000		≤0,000	

Prob ≥0,5 Não significativo; N= 3 sumos de 7 morangos cada por substrato e cultivar, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

São necessários elevados teores de sólidos solúveis e acidez para os frutos terem o sabor típico do morango e aroma intenso e doce. Quanto maior a razão SS/AT melhor será o morango para o consumidor. Com certeza se comparasse os resultados obtidos com um ensaio de análise sensorial os resultados seriam similares, mas como não foi possível realizar tal ensaio, apenas constatarei os resultados obtidos. Sendo assim pode dizer-se que a cultivar Rábida produziu os frutos mais doces e com aroma mais intenso, pois verificou-se que apresentaram a maior razão SS/AT (10,8) (Fig.19). Estes resultados coadunam-se com os obtidos no ensaio realizado por Lisboa (2017).

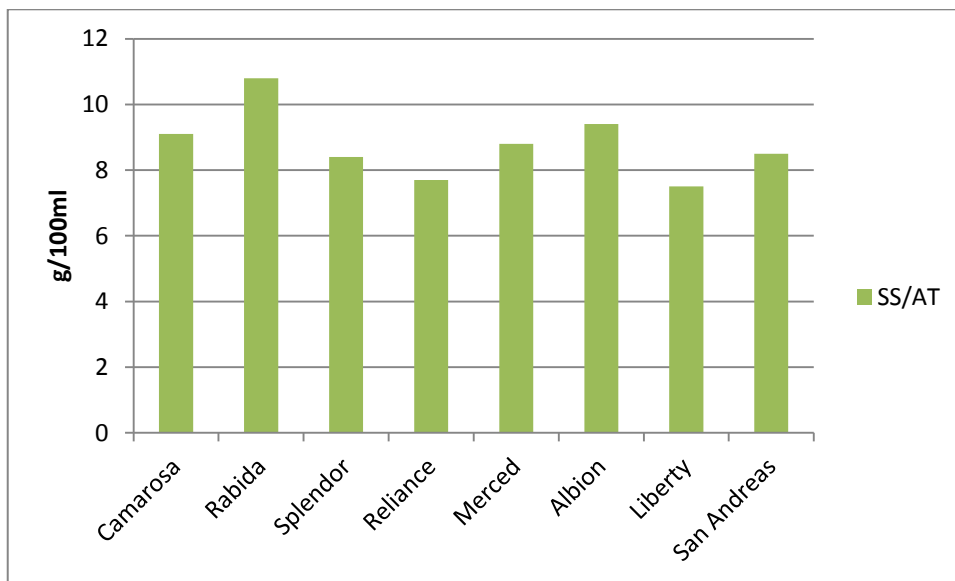


Figura 19 - Influência da cultivar na razão SS/AT.

5. Conclusão

A avaliação da resposta de vários genótipos comerciais de morangueiro, cultivados em substrato numa estufa de vidro, à iluminação suplementar com luz LED, foi realizada de modo a aferir se as condições de luz durante o período de outono-inverno seriam ou não limitantes para o crescimento e produtividade da cultura.

Os resultados obtidos evidenciaram que a iluminação com luz LED não influenciou o crescimento e desenvolvimento da planta, pois o acréscimo de luz não afetou significativamente os vários parâmetros vegetativos (diâmetro da coroa e número de coroas e de folhas) e reprodutivos (número de inflorescências e de flores). No entanto, durante os meses de novembro, dezembro e janeiro, quando os valores da radiação PAR foram mais baixos, o acréscimo de luz com lâmpadas LED melhorou a taxa fotossintética do morangueiro durante a fase de floração (83 DAP).

O desempenho fotossintético variou significativamente entre as cultivares. Na floração, a 'Camarosa', 'Splendor', 'Reliance', 'Merced' e 'Albion' apresentaram os maiores valores de taxa fotossintética enquanto na fase de plena frutificação os maiores valores foram observados nas cultivares 'Merced' e 'Splendor'. O teor de clorofilas (SPAD) variou apenas em função das cultivares, quer na floração e em plena frutificação.

Houve uma tendência para as plantas sujeitas à luz LED apresentarem uma maior área foliar comparativamente às plantas sem luz. O mesmo efeito se verificou com o substrato de coco que conduziu a maiores áreas foliares e maior biomassa total.

Entre genótipos, as plantas da cv. Rabida apresentaram taxas fotossintéticas mais baixas mas a aptidão desta cultivar para desenvolver maiores áreas foliares contribuiu para a maior produção de fotoassimilados e consequentemente para a sua maior produtividade.

O substrato não influenciou a precocidade da produção das plantas mas a produção total. A produtividade das plantas conduzidas em substrato Coco foi superior à das plantas em substrato M1. A cv. Rabida revelou ser a mais precoce e a mais produtiva entre genótipos, quer de DC e ID. Nas cultivares ID, a 'San Andreas' foi a mais produtiva.

O tipo de substrato não afetou as características físicas dos frutos, à exceção do peso unitário do fruto que foi superior no substrato de coco. No que se refere às características químicas, os frutos apresentaram maiores valores de acidez titulável no substrato M1. O teor de açúcares dos frutos diferiu entre as cultivares e variou entre 7,0 ('Reliance') e 8,5 ° Brix ('Albion').

Neste ensaio, importa salientar que a iluminação LED só foi aplicada durante 4h diárias, quando a radiação PAR se situava abaixo dos valores entre 150-200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Este acréscimo de luz pode ter sido insuficiente para induzir um maior incremento inicial do crescimento vegetativo e reprodutivo da planta e consequentemente para uma melhoria da produtividade. Contudo, a concordância dos valores de produção obtidos neste trabalho com outros efetuados também com cultivares de morangueiro em substrato, sugerem que as condições de luz durante o outono-inverno não foram

limitantes para a produtividade da cultura do morangueiro em substrato e em cultura protegida.

Em termos gerais, pode concluir-se que a aplicação da luz LED durante o outono e inverno apontaram benefícios no desempenho fotossintético das cultivares mas não no aumento da produtividade da cultura. A produtividade da *Fragaria xananassa* foi mais dependente do genótipo e do substrato do que da luz adicional.

6. Referências Bibliográficas

- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V. 2002.** Physiochemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology* 82: 241-245
- Ameri, A., Tehranifar, A., Shoor, M., Davarynejad, G.H. 2012.** Effect of substrate and cultivar on growth characteristic of strawberry in soilless culture system. Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. *African Journal of Biotechnology*, v. 11(56). p. 11960-11966.
- Anglés, M. 2001.** Control climático y ciclo de cultivo. *Horticultura. Tecnología de Producción. Horticultura*. Copyright Ediciones de Horticultura, v.152. p. 1-7.
- Asiah, A., Mohd, R.I., Mohd, K.Y., Marziah, M., Shaharuddin, M. 2004.** Physical and chemical properties of coconut coir dust and oil palm empty fruit bunch and the growth of hybrid heat tolerant cauliflower plant. *Journal of Tropical Agricultural Science* 27 (2): 122-133.
- Bickford, E.D. and S. Dunn. 1972.** Lighting for plant growth. The Kent State Univ. Press, Kent, OH.
- Bortwick, H.A., Parker, M.V., 1952.** Light in relation to flowering and vegetative development. Rpt. 13. Intl. Hort. Cong. 2:801-810.
- Brackmann, A., Freitas, S.T., Mello, A.M., Neuwald, D.A. 2002.** Efeito da temperatura de armazenamento sobre a qualidade do morango cultivar 'Oso Grande'. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 8, n. 1, p.77-78.
- Brito, L. M. 2012.** Características dos substratos para Horticultura. *Agrotec* 2: 32-38
- Bueno S.C.S, Maia A.H.N, Tessarioli N. J. 2002.** Florescimento de 17 cultivares de morangueiro (*Fragaria X ananassa* Duch.), In: congresso de fruticultura. São Paulo.
- Buriol, G. A., Schneider, F.M., Stefanel, V., Andriolo, J.L., Medeiros, S.L.P. 1993.** Modificações na temperatura mínima do ar causadas por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.1, p.43-49.
- Calvete, E.O., Tessaro, F. 2008.** Ambiente protegido aspectos gerais. In: PETRY, C. Plantas ornamentais aspectos para produção. 2 ed. Passo Fundo. p. 24-45.
- Carbonari, R. 1978.** Produção de morango (*Fragaria* spp) em função do processamento de mudas e épocas de plantio. Piracicaba: ESALQ-USP, Dissertação de mestrado-Programa de pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba. 71 p.
- Carlile, W. R., Wilson, D. P. 1991.** Microbial activity in growing media – a brief review. *Acta Horticulturae* 294: 197-206

Carvalho, H.A. de, Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B., Carvalho, H.S. de. 2001. Efeito da atmosfera modificada sobre componentes da parede celular da goiaba. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 3, p. 605-615.

Cermeño, Z.S. 1994. *Construccion de invernaderos*. Madri: Mundi-Prensa. 445p.

Chitarra, A.B. 1999. Armazenamento de frutos e hortaliças por refrigeração. Lavras: UFLA/FAEPE, 58p.

Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B. 2005. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: ESALQ/FAEPE, 2. Ed. 785 p.

Choi, H.G., Moon. B.Y., Kang. N.J. 2015. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae*. V.189. 22-31p.

Correia, C. 2006. Fibra de coco, composto e vermicomposto. Alternativas à turfa na formulação e avaliação de substratos para agricultura biológica. Relatório do trabalho de fim de curso. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 55p.

Cunningham, S.C. 2006. Effects of vapor pressure deficit on growth of temperature and tropical evergreen rainforest of Australia. *Acta Ecologica*, Paris, v. 30, p.399-406.

Darrow, G. M. 1929. Inflorescence types of strawberry varieties. *Am. J. Bot.*, XVI: 571-585p.

Darrow, G.M., Waldo, G.F. 1934. Responses strawberry varieties and species to duration of daily light period. *Tech. Bull.* 453:1-31

Darrow, G.M. 1936. Interrelation of temperature and photoperiodism in the production of fruit buds and runners in the strawberry. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 34:360-363

Deitzer, G.F., R. Hayes, and M. Jabben. 1979. Kinetics and time dependence of the effect of far red light on the photoperiodic induction of flowering in Wintex barley. *Plant Physiol.* 64:1015–1021.

Domingues, D.M. 2000. Efeito da radiação gama e embalagem na conservação de morangos “Toyonoka” armazenados sob refrigeração. Dissertação (Mestrado em Ciência dos alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Piracicada. 60 p.

Downs, R.J. 1956. Photoreversibility of flower initiation. *Plant Physiol.* 31:279–284.

Duarte F. J; Cunha R.J.P., Alvarenga D.A., Pereira G.E., Antunes L.E.C., 1999. Aspectos de florescimento e técnicas empregadas objetivando a produção precoce em morangueiros. *Informe Agropecuário* 20: 30-35.

Durner, E.F, Poling, E.B. 1985. Comparison of three methods of determining the floral or vegetative status of strawberry plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 808-811.

Flore, J.A., Layne, D.R. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *HortScience* 34: 1015-1019.

Folta, K.M., Childers, K.S., 2008. Light as a growth regulator: controlling plantbiology with narrow band width solid-state lighting systems. HortScience v.43. p 1957-1964.

Furlan, R.A. 2001. Avaliação da nebulização e abertura das cortinas na redução da temperatura do ar em ambientes protegidos. Piracicaba. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 146p.

Gavilán, M.U. 2004. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. In: Tratado de cultivo sin suelo (coord. Gavilán, M.U.). 3ª edición. Madri: Eds. Mundi-Prensa, 3-47.

Gimenez, G., Andriolo, J., Godoi, R. 2008. Cultivo sem solo do morango. Ciência Rural, v.38, n.1, p 273-278.

Gottdenker, J.S., Giacomelli, G.A. & Durner, E. 2001. Supplemental lighting strategy for greenhouse strawberry production (*Fragaria xananassa* Duch. Sweet charlie). *Acta Horticulturae* 559: 307-312.

Guérineau, C., Bigey, J., Longuesserre, J., Navatel, J.C., Pommier, J.J., Lacroix, C.R. 2003. La culture du fraiser sur substrat. Ctifl-Ciref.Paris. 165p.

Guttridge, C.G. 1955. *Fragaria x ananassa*. In: CRC Handbook of Flowering, vol III. Halevy A.(ed.). CRC Press. Florida. 16-33p.

Hancock, J.F. 1999. Strawberries. CABI Pulishing. New York. 237p.

Heide, O. 1977. Photoperiod and temperature interactions in growth and flowering of strawberry. *Physiol.Plant.*, 40:21-26p.

Kader, A. A. 1991. Quality and its maintenance in relation to postharvest physiology of Strawberry. In: LUBY. The strawberry into the 21st century, Timber Press, Portland, Oregon, EUA. 145-152p.

Kawamata, S. 1997. Studies on sugar component for fruits by gas-liquid chromatography. Bulletin Tokio Agriculktural Experiment Station, Tokyo, n. 10, p. 53-63.

Lang.G.A. 1987. Dormancy: a new universal terminology. Hortscience. 22: 817-819p.

Lazzarini, L.E.S. Pacheco, F.V. Silva, S.T. Coelho, A.D. Medeiros, A.P.R Bertolucci, S.K.V. Pinto, J.E.B.P. Soares, J.D.R. 2017. Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas. Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 2, p. 137-144.

Lemaire, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing médium. *Acta Horticulturae* 396: 273-284

Lisboa, J., Palha, M. G & Oliveira, C. M. 2017. Influência do substrato na fenologia, na biometria e produtividade das cultivares de morangueiro Camarosa, Rábida, San Andreas e Portola. *Actas Portuguesas de Horticultura* 26: 19-28.

López-Aranda, J.M. 2008. El cultivo de la fresa en Huelva. In: La fresa de Huelva. Junta de Andalucia, Consejeriade Agricultura y Pesca, 105-176.

Machado, J.T.M. 2015. Desempenho de morangueiro frente a diferentes espectros de radiação artificial complementar em cultivo sem solo. Universidade Federal da Fronteira sul, Campus de Cerro Largo. 44p.

Maher, M. Prasad, M. Raviv, M. 2008. Organic soilless media components. In Soilless culture. Theory and practice, M.Raviv (ed). Elsevier. USA. 459-496 p.

Martim, M.V. 1987. Cultivo del freson en climas templados. Ediciones Agrárias S.A. 374 p.

Martinez Garcia, P.F. 1986. La regulación de las condiciones del ambiente em los cultivos protegidos. In: Feria tecnica internacional de la maquinaria agrícola, 1986, Zaragoza. *Anales...*p. 135-147.

Martins, S.R., Gonzales, J.R. 1995. Avaliação do resfriamento em estufa plástica mediante sistema de ventilação e nebulização. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. v. 3, n. 2, p. 13-18.

Massa, G.D., Kim, H. and Wheeler, R.M., Mitchell, C.A. 2008. Plant Productivity in Response to LED Lighting. *HortScience* vol. 43(7), p 1851-1956.

Mccree, K.J. 1972. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, Nova York, v. 9, p. 191-216.

Mendonça, M.G., 1998. Efeito da data de arranque no viveiro e do tratamento pelo frio no crescimento e produtividade do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) Tese de doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 19-40p.

Miranda, C.F., Henriques, S., Rodrigues L., Rodrigues A.S., Monteiro A.A., Caço, J., Reis M., Antunes L.E. 2004. Manual De Culturas Hortícolas sem solo. AIHO 152: 100-108

Naasz, R., Caron, J., Legault, J., Pichette, A. 2008. Efficiency factors for bark substrates: biostability, aeration, or phytotoxicity. *Soil Science Society of America Journal*. 3: 780-791

Nestby, R. & Trandem, N. 2013. Supplemental LED growth light in remontant strawberry at high latitudes. *Journal os Berry Research* 3: 217-226.

Neves, L.C., Luccheta, L., Marini, L., Zanuzzo, M., Zanatta, J., Rombaldi, C.V. 2004. Armazenamento refrigerado de caquis “fuyu”, sob atmosfera modificada com absorção de etileno. *Revista brasileira de fruticultura*, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 3, p. 414-418.

Nunes, E.E. 2001. Caracterização Química de Abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) cv. *Smooth Cayenne*. Monografia (Graduação em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 67 f.

Oda Y. 1997. Effects of light intensity, CO₂ concentration and leaf temperature on gas exchange of strawberry plants –feasibility studies in CO₂ enrichment in Japanese conditions. *Acta Horticulturae* 439:563–573.

- Oliveira, F. E. da R. 2005.** Qualidade de pêssegos ‘Diamante’ (*Prunus pérsica* (L.) Batsch) submetidos ao 1-metilciclopropeno. Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobioquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 68 p.
- Palencia, P., Bordonaba, J.G., Martínez, F., Terry, L.A. 2016.** Investigating the effect of different soilless substrates on strawberry productivity and fruit composition. *Scientia Horticulturae* v. 203. 12-19p.
- Palha, M.G. 2005.** A planta do morangueiro. In: INIAV/EAN (ed.). Manual do Morangueiro. Oeiras. 3-12p.
- Palha, M.G. & Oliveira, P. B. 2017.** Melhoria da produtividade do morangueiro no período outono-inverno com recurso à temperatura e luz suplementar. *Actas de Horticultura* do VI Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas.
- Palha, M.G., Pestana, F. and Oliveira, C.M. 2018.** Plant growth, yield and fruit quality of *Fragaria xananassa* genotypes under supplemental LED lighting system and substrate cultivation *Acta Horticulturae* (em impressão).
- Pestana, F., Semedo, J.N., Scotti-Campos, P., Oliveira, C.M. & Palha, M.G. 2017.** Influência da iluminação LED no desempenho fotossintético e na produtividade da *Fragaria x ananassa* em substrato, *Atas Portuguesas de Horticultura* 29:272-279.
- Phillips, I.D.J. 1975.** Apical dominance. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 26:341-367
- Poudel, P.R.; Kataoka, I.; Mochioka, R. 2008.** Effect of red-and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* (PCTOC), London, v.92, n.2, p. 147-153.
- Ribeiro, H. M., Vasconcelos, E., Ribeiro, D., Cabral, F., Santos, J. Q. 2001.** Utilização de casca de pinheiro envelhecida na cultura de plantas ornamentais envasadas. *Revista de Ciências Agrárias*. Vol. XXIV 3 e 4: 176-183
- Rissel, G. e Navatel, J.C. 1997.** La Fraise: Plants et Variétés. Ctifl, Ciref. 2ème ed. Paris. 103p.
- Robbins, J.A., Evans, M.R. Sem data.** Growing Media for Container Production in a Greenhouse or Nursery. Part I (Components and mixes). Greenhouse and Nursery Series. University of Arkansas. Division of agriculture. 4p.
- Roudeillac. M.P., Veschambre, D., Risser, G., Nourrisseau, J.G., Felici, G., Fourel, A., Moureau, B. Navatel, J.C. 1987.** La fraise. Techniques de production. Ctifl-Ciref. Paris. 384p.
- Streck, N., Weiss, A., Xue, Q, Baenziger S. A. 2003.** Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. *Agricultural and Forest Meteorology*. 115: 139-150.
- Streck, N., Weiss, A., Xue, Q., Baenziger S. A. 2005a.** Estimativa do filocrono em cultivares de trigo de primavera. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13. 423-429 p.

Streck, N., Weiss, A., Xue, Q., Baenziger S A. 2005b. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo L.*) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. *Ciência Rural*. v. 35. 1275-1280 p.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2004. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. São Paulo: Artmed. 719 p.

Takeda, F., Glenn D.M. & Stutte, G.W. 2008. Red light affects flowering under long days in a short-day strawberry cultivar. *HortScience* 43: 2245-2247.

Ueno, B. 2004. Manejo integrado de doenças do morango. In: Simpósio Nacional do Morango, 2, 2004, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 69-77.

Vilas Boas, E.V. de B. 1999. Técnicas para diversas análises de alimentos. Lavras: UFLA, 74 p.

Xue, Q., Weiss, A. Baenziger, P. S. 2004. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. *Ecological Modeling*, v. 175, n. 3. 261-270 p.

Cibergrafia

INE 2018, Estatísticas Agrícolas. <https://www.ine.pt/xportal/> acedido a 6 de outubro de 2018

GPP, 2017 Pequenos frutos. <http://www.gpp.pt/index.php/produtos/produtos> acedido em 6 de outubro 2018

Anexos

ANEXO I – Condições ambientais

Quadro 10 - Valores médios, máximos e mínimos da temperatura no interior da estufa ao longo do ensaio.

Mês	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Média (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Humidade Relativa Mínima (%)	Humidade Relativa Média (%)
Dez.	24.5	9.27	14.74 ± 0.20	89.27	40.77	69.87 ± 0.65
Jan.	23.53	8.16	13.93 ± 0.20	88.6	44.24	72.09 ± 0.62
Fev.	24.68	8.875	14.66 ± 0.23	82.43	36.57	65.12 ± 0.70
Mar.	28.97	10.58	17.39 ± 0.24	80.76	31.41	60.42 ± 0.72
Abr.	29.62	13.26	19.94 ± 0.24	81.78	38.20	61.86 ± 0.69
Mai.	29.03	14.80	20.98 ± 0.19	77.93	35.45	57.88 ± 0.65

ANEXO II – Crescimento e desenvolvimento das plantas

Quadro 11 - Matéria seca e área foliar 53 DAP.

	Peso seco (g)					Área foliar (cm ²)
	Raiz	Coroa	Folhas	Flores	Total Seco	
Com LED	1.7	0.2	1.3	0.2	3.4	179.7
Sem LED	1.7	0.2	1.2	0.3	3.3	172.9
SEM	0.19	0.03	0.13	0.15	0.40	15.29
PROB	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Coco	1.6	0.2	1.2	0.2	3.2	182.1
M1	1.8	0.2	1.2	0.3	3.5	170.6
SEM	0.15	0.02	0.08	0.05	0.24	9.59
PROB	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Cultivares						
Albion	1.2 B	0.2 B	1.0 BCD	0.1	2.6 C	151.2 CD
Camarosa	1.8 AB	0.3 AB	1.9 A	0.3	4.4 AB	298.9 A
Liberty	1.5 AB	0.2 B	1.0 CD	0.2	2.8 BC	130.7 CD
Merced	1.4 B	0.2 B	1.2 BCD	0.2	2.8 BC	136.6 CD
Rabida	1.3 B	0.2 B	1.6 AB	0.3	3.4 ABC	271.9 AB
Reliance	2.2 AB	0.2 B	1.0 CD	0.3	3.5 ABC	138.1 CD
San						
Andreas	2.4 A	0.4 A	1.4 ABC	0.3	4.5 A	197.9 BC
Splendor	2.0 AB	0.2 B	0.7 D	0.2	2.8 BC	85.3 D
SEM	0.22	0.03	0.14	0.05	0.36	18.73
PROB	0.001	<0.001	<0.001	N.S.	0.001	<0.001

Prob $\geq 0,5$ Não significativo; N= 3 plantas por tratamento, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

Quadro 12 - Matéria seca e área foliar 150 DAP.

	Peso seco (g)						Área foliar (cm ²)
	Raiz	Coroa	Folhas	Flores	Frutos	Total	
Iluminação							
Com LED	3.9	1.2	11.8	3.8	35.7	23.9 B	1531.6
Sem LED	3.2	1.3	12.0	3.7	36.8	57.0 A	1317.2
SEM	0.31	0.12	1.32	0.06	4.96	4.88	168.99
PROB	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.041	N.S.
Substrato							
Coco	3.9	1.2	12.6	4.1	40.7 A	43.948 A	1478.4
M1	3.3	1.3	11.2	3.4	31.8 B	36.947 B	1370.4
SEM	0.29	0.07	0.58	0.62	1.03	1.56	68.81
PROB	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.004	0.034	N.S.
Cultivar							
Albion	4.2 AB	1.6 A	11.4 AB	2.6	28.252 C	35.466 C	1284.5 C
Camarosa	5.6 A	1.6 A	16.8 A	4.5	43.422 B	49.715 B	2178.5 A
Liberty	3.0 B	1.3 AB	12.8 AB	3.2	29.083 C	37.205 BC	1502.9 BC
Merced	3.2 B	1.0 AB	13.0 AB	3.1	24.329 C	34.114 C	1435.4 C
Rabida	3.7 AB	1.6 A	15.2 A	7.7	65.326 A	63.84 A	2080.1 AB
Reliance	2.2 B	1.0 AB	9.0 B	3.4	30.978 C	34.659 C	992.8 C
San							
Andreas	4.2 AB	1.1 AB	8.9 B	2.8	43.942 B	40.767 BC	1008.4 C
Splendor	2.5 B	0.7 B	8.3 B	2.8	24.796 C	27.815 C	912.9 C
SEM	0.51	0.17	1.24	1.18	2.97	4.35	143.24
PROB	<0,001	0.002	<0,001	N.S.	<0,001	<0,001	<0,001

Prob $\geq 0,5$ Não significativo; N= 3 plantas por tratamento, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

Quadro 13 - Matéria seca e área foliar 178 DAP.

	Peso seco (g)						Área Foliar (cm ²)							
	Raiz	Coroa	Folhas	Flores	Frutos	Total								
Iluminação														
Com LED	3.4	1.9	17.5	4.9	22.5	50.2			2248.80					
Sem LED	3.9	1.6	16.4	4.6	20.5	47.1			1991.10					
SEM	0.56	0.18	1.50	0.27	3.46	5.77			79.50					
PROB	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.			N.S.					
Substrato														
Coco	3.8	1.8	17.2	4.8	23.4	A	51.1	A	2169.1					
M1	3.4	1.7	16.7	4.7	19.7	B	46.2	B	2070.8					
SEM	0.20	0.02	0.77	0.30	0.65	1.10			55.47					
PROB	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.016	0.034			N.S.					
Cultivar														
Albion	4.3	AB	2.2	AB	16.2	ABC	4.1	B	23.0	AB	60.2	A	1848.6	AB
	5.1	A	2.3	A	21.5	A	5.5	AB	21.5	AB	55.8	A	2641.8	A
Camarosa	3.7	AB	2.3	A	23.5	A	4.4	AB	18.5	B	52.4	AB	2661.2	A
Liberty	3.6	AB	1.3	ABC	17.9	ABC	4.3	AB	22.1	AB	49.8	AB	2431.2	AB
Merced	4.3	AB	2.2	AB	19.4	AB	7.9	A	26.3	A	49.2	AB	2874.4	A
Rabida	2.1	B	1.2	C	12.4	BC	4.0	B	20.8	AB	40.8	B	1482.6	B
Reliance	3.3	AB	1.3	BC	11.7	C	3.9	B	20.6	AB	40.6	B	1577.0	B
San Andreas	2.8	AB	1.2	C	13.1	BC	3.8	B	19.2	AB	40.3	B	1442.8	B
Splendor														
SEM	0.53	0.21	1.71	0.86	1.66	3.27			238.50					
PROB	0.009	<0.001	<0.001	0.0225	0.05	0.0001			<0.001					

Prob $\geq 0,5$ Não significativo; N= 3 plantas por tratamento, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

ANEXO III - Análise quantitativa da produção

Quadro 14 - Produção total, produção precoce (fevereiro + março) produção em abril e em maio.

Tratamento	Produção total (g/planta)	Produção fev+março (g/planta)	Produção abril (g/planta)	Produção maio (g/planta)
LEDs				
Sem LED	658,5	124,1 A	309,0	224,2
Com LED	652,7	96,4 B	301,8	252,9
Prob.	0,850	0.007	0,633	0,090
Substrato				
Coco	723,3 A	119,3	344,4 A	257,3 A
M1	587,8 B	101,3	266,4 B	219,7 B
Prob.	<0,000	0.0738	<0,000	0.027
Cultivares				
Rabida	1070 A	232,3 A	537,8 A	262,9
Camarosa	713,2 B	127,3 BC	345,8 B	296,6
San Andreas	709,1 B	187,9 AB	329,0 BC	199,5
Albion	602,6 BC	83,6 CD	245,0 CD	228,0
Reliance	596,5 BC	67,1 CD	289,2 BCD	236,2
Liberty	531,9 BC	93,1 CD	238,4 CD	216,3
Merced	524 BC	37,1 D	231,5 D	228,7
Splendor	497,2 C	53,9 D	226,4 D	240,1
Prob	<0,000	<0,000	<0,000	0,151

Prob $\geq 0,5$ Não significativo; N= 3 plantas por tratamento, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes

ANEXO IV – Análises físicas e químicas dos morangos

Quadro 15 - Características físicas dos morangos (peso, forma, dureza, comprimento, tonalidade e saturação).

Tratamento	Peso		For ma		Dure za		L		a*		b*	
	(g)		(C/L)									
Substrato												
Coco	19,8	A	1,17		60,54		30,8		23,8		31,6	
M1	17,3	B	1,14		60,96		30,9		23,7		31,7	
Prob.	0,00 1		0,07 2		0,673		0,839		0.743		0,729	
Cultivares												
Rabida												
	21,0	ABC	1,2	B	63,6	B	32,8	A	24,8	ABC	35,7	A
Camarosa	16,4	DE	1,1	BC	63,5	B	27,7	C	20,7	E	29,7	B C
San Andreas	22,5	AB	1,3	A	55,5	C	31,5	A B	23,5	CD	34,6	A
Albion	23,1	A	1,3	A	53,8	C	28,6	C	22,8	D	28,8	C
Reliance	18,5	BCD	1,0	D	55,0	C	31,5	A B	25,4	AB	29,4	B C
Liberty	16,8	CDE	1,1	BC	70,9	A	32,7	A	25,7	A	34,1	A
Merced	16,1	DE	1,1	CD	66,4	A B	31,0	B	23,5	CD	31,3	B
Splendor	13,9	E	1,0	D	57,4	C	31,2	A B	23,9	BCD	29,3	B C
Prob	≤0,0 00		≤0,0 00		≤0,00 0		≤0,00 0		≤0,00 0		≤0,00 0	

Prob ≥0,5 Não significativo; N= 21 morangos por substrato e 42 por cultivar, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

Quadro 16 - Características químicas dos morangos ($^{\circ}$ Brix, Acidez, e pH).

Tratamento	Brix		Acidez		pH	
Substrato						
Coco	7,8	B	8,8	B	3,50	A
M1	8,1	A	9,4	A	3,48	B
Prob.	0,257		≤0,000		≤0,004	
Cultivares						
Rabida	8,2	AB	7,6	E	3,5	A
Camarosa	7,9	ABC	8,6	D	3,6	A
San Andreas	7,7	ABC	9,1	CD	3,5	B
Albion	8,5	A	9,0	CD	3,6	A
Reliance	7,0	C	9,1	CD	3,4	BC
Liberty	7,6	BC	10,2	A	3,4	C
Merced	8,2	AB	9,3	BC	3,5	BC
Splendor	8,3	AB	9,9	AB	3,5	BC
Prob	0,000		≤0,000		≤0,000	

Prob $\geq 0,5$ Não significativo; N= 3 sumos de 7 morangos cada por substrato e cultivar, Teste de comparação múltipla de médias de Tukey para $\alpha=0,05$, letras diferentes em coluna indicam valores estatisticamente diferentes.

Influência da iluminação LED no desempenho fotossintético de *Fragaria* × *ananassa* em substrato

F. Pestana¹, J.N.Semedo², P. Scotti-Campos², C.M. Oliveira¹ & M.G. Palha²

¹LEAF, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda 1349-017 Lisboa, Portugal

²Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P., UEIS-SAFSV/UEIS-BRG, Av. da República, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras, Portugal

Resumo

Durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, fatores ambientais como a radiação solar e a temperatura podem ser limitantes no período outono-inverno quando a intensidade luminosa e a temperatura são mais baixas, afetando a atividade fotossintética e a produtividade. Um acréscimo de luz, através do uso de lâmpadas LED (*light-emitting diodes*), pode minimizar os impactos negativos para a fisiologia da planta em condições menos favoráveis de luminosidade, nomeadamente em zonas temperadas (dias curtos). São poucos os estudos efetuados para avaliar a influência do fator luz no comportamento do morangueiro em termos de eficiência fotossintética e nos diferentes componentes da produção, nas condições ambientais portuguesas. Neste sentido, foram avaliados alguns parâmetros fisiológicos e a produtividade de oito cultivares de morangueiro ('Albión', 'Camarosa', 'Liberty', 'Merced', 'Rabida', 'Reliance', 'San Andreas' e 'Splendor') sujeitas a dois tratamentos de luz (com e sem lâmpadas LED) e conduzidas em dois tipos de substrato [fibra de coco (Coco) e mistura de casca de pinheiro compostada, turfa e fibra de coco (M1)]. O ensaio decorreu no complexo de estufas do INIAV, I.P., em Oeiras e a programação da luz foi diária com início em novembro até ao final de fevereiro. O comportamento fisiológico das plantas foi avaliado em duas fases: floração e plena frutificação.

Durante a floração, na maioria dos casos, as plantas sujeitas à luz LED apresentaram maiores valores da taxa fotossintética líquida (P_n) e menores valores de transpiração (E) em relação ao controlo. Este efeito variou entre cultivares e substrato. Na fase de plena frutificação (já sem o tratamento de luz), os valores de P_n foram mais baixos, com diferenças entre cultivares e modalidades de substrato. O teor de clorofilas (SPAD) variou apenas em função da cultivar ($p < 0,05$), nas duas fases de avaliação. Um suplemento de luz durante o outono não influenciou a produtividade das cultivares. A produtividade das plantas conduzidas em substrato Coco foi, em média, 23% superior à das plantas em substrato M1. A maior produtividade ocorreu nas cvs. Rabida, Camarosa e San Andreas. Estes resultados sugerem que o desempenho fotossintético e a produtividade da *Fragaria* × *ananassa* estão mais dependentes do genótipo e do substrato do que da luz adicional. Contudo, um suplemento de luz em condições limitantes de radiação pode contribuir para um melhor desempenho fotossintético das plantas de morangueiro.

Palavras-chave: cultivares, fotossíntese, clorofila, produtividade

Abstract

Effect of LED supplemental illumination on photosynthetic activity of *Fragaria ×ananassa* in substrate cultivation

During plant growth and development, environmental factors such as solar radiation and temperature may be limiting in the fall-winter period when light intensity and temperature are lower, affecting photosynthetic activity and productivity. Increasing light intensities with supplemental illumination in greenhouse crops can minimize negative impacts on plant physiology, especially in temperate zones (short days). There are few studies to evaluate the influence of the light factor on strawberry behavior in terms of photosynthesis efficiency and yield components under Portuguese environmental conditions. So the reaction of eight strawberry cultivars ('Albion', 'Camarosa', 'Liberty', 'Merced', 'Rabida', 'Reliance', 'San Andreas' and 'Splendor') to supplemental LED illumination was examined by evaluating some photosynthetic and yield parameters.

In the majority of the cases, during flower stage plants subjected to LED light presented higher values of net photosynthetic rate (P_n) and lower values of transpiration (E) compared to control plants. This effect varied between cultivars and substrate. During fruit production (without light treatment), P_n values were lower, with major differences between cultivars. Chlorophyll content (SPAD) differed among cultivars. A light supplement during the fall did not influence the productivity of the cultivars. The productivity of the plants conducted on Coco substrate was, on average, 23% higher than the plants in substrate M1. The highest productivity occurred in 'Rabida', 'Camarosa' and 'San Andreas'.

These findings suggest that under Portuguese environmental conditions *Fragaria ×ananassa* photosynthetic and yield performance relied more on genotype and substrate type than on additional light. However, a supplemental illumination during growth periods with low light levels may contribute to a better photosynthetic plant performance.

Keywords: cultivars, photosynthesis, chlorophyll, yield

Introdução

A *Fragaria ×ananassa* é um híbrido octoplóide que deu origem à maior parte das variedades de morangueiro cultivadas nas várias regiões produtoras no mundo. As variedades comerciais (cultivares) são de adaptação microclimática, apresentando um melhor desempenho em meios agroambientais semelhantes aos meios onde foram seleccionados (López-Aranda, 2008). A adaptação morfológica e fisiológica a outros meios é expressa pela interacção genótipo x ambiente.

Devido à crescente competitividade no setor do morango tem-se verificado grandes mudanças nas tecnologias de produção de morango. Os produtores têm recorrido à produção do fruto em cultura sem solo (substrato e NGS) em estufa para aumentar a precocidade e a produtividade. No entanto, no período de outono-inverno alguns fatores ambientais como a intensidade luminosa e a temperatura podem ser limitantes, afetando a atividade fotossintética e a produtividade da planta (Oda, 1997; Li et al. 2012). Um acréscimo de luz através do uso de lâmpadas tem demonstrado o efeito positivo na melhoria do crescimento e desenvolvimento da planta (Gottdenker et al., 2001; Folta & Childers, 2008; Palha & Oliveira, 2017).

Nas regiões situadas a maiores latitudes, a luz é considerada um dos fatores ambientais mais restritivos para o crescimento das plantas do morangueiro, pois a partir de setembro o fotoperíodo e a intensidade da luz decrescem influenciando diretamente a

fotossíntese e a produtividade (Oda, 1997; Nestby & Trandem, 2013; Hydaka et al., 2012).

A tecnologia da iluminação artificial com recurso a lâmpadas (fluorescentes, vapor de sódio e LED – *light emitting diodes*) tem sido estudada em várias culturas, em torno de três variáveis da luz: qualidade (cor e comprimento de onda), quantidade (fluxo e frequência de fótons) e duração da luz (fotoperíodo). No seu conjunto estes três parâmetros influenciam a arquitectura da planta, o crescimento vegetativo e a floração, a atividade fotossintética das folhas e a produtividade (Takeda et al., 2008; Li et al. 2012; Hidaka et al., 2013).

A determinação das trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração) pode constituir uma importante ferramenta na avaliação de adaptação e estabilidade dos génotipos aos diferentes sistemas de produção existentes nas regiões produtoras de morango.

São poucos os estudos efetuados sobre a influência do fator luz na eficiência fotossintética do morangueiro nas regiões produtoras a sul da Europa com condições ambientais mais favoráveis e mais competitivas, onde se inclui Portugal. Assim, com este trabalho pretendeu-se avaliar alguns parâmetros fisiológicos e a produtividade da planta em diferentes génotipos de *Fragaria × ananassa* sujeitos a um suplemento de luz LED durante o período outono-inverno, em cultura de substrato.

Material e métodos

O estudo decorreu no *campus* de Oeiras, num compartimento do complexo de estufas do INIAV, I.P., dividido em 2 setores, com (L1) e sem iluminação artificial (L0). O delineamento experimental de 3 fatorial (2x2x8) foi em *split-split plot* com 3 repetições, sendo o fator principal a iluminação LED, o subfactor o substrato e o subfactor a cultivar.

A iluminação, constituída por 35 projetores, foi feita com lâmpadas *Philips* Green power LED (18W) com um fluxo de fótons de $22 \mu\text{mol s}^{-1}$, e controlada por computador geral que gere as temperaturas e a iluminação. A programação da luz foi diária sempre que a intensidade luminosa era inferior a $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ radiação (8:00h às 19:00h), com início em novembro até ao final de fevereiro. Utilizaram-se 2 substratos comerciais, Coco, constituído por fibra de coco, e M1, composto por casca de pinheiro compostada (40%), turfa (40%) e fibra de coco (20%) desenvolvido especialmente para o morango e testaram-se oito cultivares: Albión, Camarosa, Liberty, Merced, Rabida, Reliance, San Andreas e Splendor. Plantas frescas foram cultivadas em sacos de polietileno preto com 150 μm de espessura e 1m de comprimento, colocados sobre uma estrutura metálica com 1,5 m de altura. A plantação foi efetuada em linhas duplas, colocando as plantas de forma alternada, com compasso de 0,15 x 0,15 m nos sacos o que correspondeu a uma densidade de plantação de 14 plantas/ m^2 (7 plantas por metro linear). A fertirega foi diária com início 15 dias após a plantação, com um sistema de rega gota-a-gota e programado para 5 a 7 regas por dia em função das exigências da cultura e fase fenológica. A fertilização foi ajustada ao longo do ciclo da planta através da medição da condutividade elétrica, regulando, assim, a quantidade de nutrientes fornecida às plantas.

Os parâmetros das trocas gasosas das plantas foram avaliados na floração, (83 DAP), e em plena frutificação (184 DAP). As taxas da fotossíntese líquida aparente (P_n), da condutância estomática (g_s) e da transpiração (E) foram determinadas em condições naturais usando um analisador portátil de gases por infravermelhos (IRGA, Infra Red Gas Analyser Li-Cor 6400, LiCor, Lincoln, USA) em sistema aberto com uma câmara de 6 cm^2 com sistema integral de luz LED azul-vermelho. As medições

foram efetuadas no período da manhã (10:00-12:00h) em folhas adultas expandidas a uma irradiância de ca. 600-700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

O índice de SPAD foi determinado por um medidor portátil SPAD-502 (Minolta Camera Co, Osaka, Japan). Os valores de SPAD foram determinados nas mesmas folhas utilizadas para as determinações das trocas gasosas (folhas adultas). As leituras foram realizadas em três pontos distintos da face adaxial das folhas.

A produção de frutos foi avaliada ao longo do ciclo de produção, de fevereiro a maio) através de colheitas bi-semanais (Pestana et al., 2016). A produção precoce corresponde à produção dos meses de fevereiro e março.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada com recurso ao programa Statistix versão 9.0 (Tallahassee, Florida). Aplicou-se o teste de Tuckey ou LSD para comparação múltipla das médias com $\alpha=0,05$.

Resultados e discussão

Na floração (83 DAP), constatou-se que as plantas sujeitas à luz LED apresentaram maiores taxas de P_n (valor médio 13,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e menores taxas de E (valor médio 2,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação às plantas controlo ($P_{n \text{ média}}=12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $E_{\text{média}}=2,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Com luz adicional, a taxa fotossintética aumentou sobretudo nas cultivares ‘Albion’, ‘Merced’, ‘Rabida’ cultivadas nos 2 substratos e nas ‘Splendor’ e ‘Liberty’ cultivadas no substrato M1 (Fig 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Hidaka et al. (2013), evidenciando, ainda, que o aumento da taxa fotossintética conduziu a maiores áreas foliares e pesos seco das folhas. Ao nível da condutância estomática, observaram-se algumas flutuações, mantendo-se em geral os valores médios elevados (ca. 230 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), não limitando o desempenho fotossintético. Entre cultivares verificou-se que os maiores valores de P_n ocorreram na ‘Camarosa’ (valor médio de 14,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e os menores na ‘Rabida’ (valor médio 11,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

De um modo geral, na fase de plena frutificação os valores de P_n decresceram, sendo similares nas plantas L0 e L1, respetivamente 11,2 e 11,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A taxa fotossintética variou entre cultivares e tipo de substrato (Fig. 2). Apesar dos níveis crescentes de radiação solar a partir de março, esta fase coincidiu com dias em que as temperaturas máximas variaram entre 30-35 °C, o que pode ter conduzido a esta redução. Para Kadir et al. (2006) regimes de temperatura alta (40 °C dia/35 °C noite) contribuem mais para a redução da fotossíntese que as temperaturas moderadas ou baixas (30/25 ou 20/15 °C).

Entre cultivares, os maiores valores de P_n ocorreram na ‘Merced’ e ‘Splendor’ (valor médio de 12,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) seguida da ‘Albion’, ‘Camarosa’, ‘Liberty’, ‘Reliance’ e ‘San Andreas’ (valor médio de 11,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A cv. Rabida apresentou mais uma vez menor taxa de fotossíntese líquida (valor médio 9,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Embora tenha havido alterações no comportamento fisiológico (trocas gasosas) das plantas em relação à iluminação LED, substrato e cultivar, o teor de clorofilas (SPAD) variou apenas em função da cultivar ($p < 0,05$) nas duas fases de avaliação. Na floração, o teor de clorofilas foi menor na ‘Rabida’ ao contrário das outras cultivares em que os valores foram maiores e similares entre si (Fig. 3).

Em termos de produtividade, verificou-se que apesar do melhor desempenho fotossintético das plantas L1 no outono, um suplemento de luz não teve efeito na produção precoce que foi superior nas L0 (Quadro 1). Saliente-se que a produção precoce englobou a produção dos meses fevereiro (com iluminação adicional) e março (sem iluminação adicional) e que a produção de fevereiro representou apenas 4% da produção precoce. Este efeito pode estar relacionado com a localização N-S da estufa onde decorreu o ensaio, que favoreceu as plantas L0 situadas a E a uma maior exposição

solar matinal, sobretudo em março, em relação às L1 situadas a W. Por outro lado, a intensidade crescente da radiação solar pode não ter sido limitante para a fotossíntese e produtividade. O substrato não influenciou a precocidade da produção das plantas mas a produção total. A produtividade das plantas conduzidas em substrato Coco foi, em média, 23% superior à das plantas em substrato M1, o que está de acordo com os resultados obtidos por Lisboa et al. (2016). A cv. Rabida revelou ser a mais precoce (232,3 g/planta) e a mais produtiva (1070,0 g/planta) entre genótipos. Embora apresentando taxas de assimilação de CO₂ mais baixas, esta cultivar desenvolveu uma maior área foliar (dados não apresentados), promovendo uma maior canalização dos fotoassimilados para os frutos e aumentando, assim, a produtividade.

O efeito positivo da luz adicional com lâmpadas LED na produtividade do morangueiro tem sido relatado com maior frequência nas regiões de maiores latitudes, como na China (Li et al., 2012), Japão (Jun et al., 2017) e Noruega (Nestby & Trandem, 2013), onde citam que o fator luz é mais limitante. Nas condições ambientais deste ensaio a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) variou entre 220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (média mensal da PAR em dezembro, das 8:00-17:00h) e 550 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (média mensal da PAR em maio, das 8:00-17:00h). Por outro lado, nestes trabalhos a potência das lâmpadas foi superior (26 a 300W) à das que se utilizaram neste ensaio (18W). Com efeito, num trabalho anterior, Palha & Oliveira (2017) evidenciaram o efeito benéfico de um suplemento de luz com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (250W), durante o outono-inverno, no aumento da produtividade das cvs. Capri e Zafir.

Conclusões

Estes resultados sugerem que nas condições ambientais portuguesas, a aplicação da luz LED durante o outono e inverno apontaram benefícios claros no desempenho fotossintético das cultivares mas não no aumento da produtividade. A produtividade da *Fragaria ×ananassa* foi mais dependente do genótipo e do substrato utilizado, induzindo o substrato Coco a maiores produtividades.

Referências

- Folta, K.M. & Childers, K.S. 2008. Light as a Growth Regulator: Controlling Plant Biology with Narrow-bandwidth Solid-state Lighting Systems. *HortScience* 43 (7): 1957-1964.
- Gottdenker, J.S., Giacomelli, G.A. & Durner, E. 2001. Supplemental lighting strategy for greenhouse strawberry production (*Fragaria ×ananassa* Duch. Sweet charlie). *Acta Horticulturae* 559: 307-312.
- Hidaka, K., Kazuhiro, D., Imamura, H., Miyoshi, Y., Takayama, T., Sameshima, K., Kitano, M. & Okimura, M., 2013. Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. *Environ. Control Biol.* 51: 41-47.
- Jun, H., Jung, H. & Imai, K. 2017. Gas exchange characteristics of a leading cultivar of Korean strawberry (*Fragaria ×ananassa*, 'Sulhyang'). *Scientia Horticulturae* 221:10-15.
- Kadir, S., Sidhu, G. & Al-Khatib, K. 2006. Strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. *HortScience* 41:1423-1430.
- Li, Y., Chen, H., Ji, H., Wang, S., Zhu Z. 2012. Effect of LED Supplemental Illumination on the Growth of Strawberry Plants. *Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO)*, Shanghai, China. doi: 10.1109/SOPO.2012.6270919
- Lisboa, J., Palha, M. G & Oliveira, C. M. 2016. Influência do substrato na fenologia, na biometria e produtividade das cultivares de morangueiro Camarosa, Rábida, San Andreas e Portola. *Actas Portuguesas de Horticultura* 26: 19-28.
- López-Aranda, J.M. 2008. El cultivo de la fresa en Huelva. In: La fresa de Huelva. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 105-176.

- Nestby, R. & Trandem, N. 2013. Supplemental LED growth light in remontant strawberry at high latitudes. *Journal of Berry Research* 3: 217-226.
- Oda Y. 1997. Effects of light intensity, CO₂ concentration and leaf temperature on gas exchange of strawberry plants –feasibility studies in CO₂ enrichment in Japanese conditions. *Acta Horticulturae* 439:563–573.
- Palha, M.G. & Oliveira, P. B. 2017. Melhoria da produtividade do morangueiro no período outono-inverno com recurso à temperatura e luz suplementar. *Actas de Horticultura do VI Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas*. (submetido)
- Pestana, F., Palha, M.G. & Oliveira, C.M. 2016. Efeito da luz e do substrato na produtividade e qualidade do fruto de oito cultivares de morangueiro. V Colóquio Nacional da Produção de Pequenos Frutos, *Programa e Livro de Resumos*: 44.
- Takeda, F., Glenn D.M. & Stutte, G.W. 2008. Red light affects flowering under long days in a short-day strawberry cultivar. *HortScience* 43: 2245-2247.

Quadros e figuras

Quadro 1. Efeito da luz (L1 e L0, com e sem luz), do substrato (M1 e Coco) e da cultivar na produção precoce (fevereiro + março) e total de frutos.

	Produção precoce	Produção total	
	(g/planta)	(g/planta)	kg m ⁻²
<i>LEDs</i>			
L0	124,1 a*	658,5 a	9,2 a
L1	96,4 b	652,7 a	9,2 a
<i>Prob.</i>	<i>0,01</i>	<i>0,85</i>	
<i>Substrato</i>			
M1	101,3 a	587,8 b	8,2 b
Coco	119,3 a	723,3 a	10,1 a
<i>Prob.</i>	<i>0,07</i>	<i><0,000</i>	
<i>Cultivar</i>			
Rábida	232,3 a	1070,0 a	14,9 a
Camarosa	127,3 bc	713,2 b	10,0 b
San Andreas	187,9 ab	709,1 b	9,9 b
Albion	83,6 cd	602,6 bc	8,4 bc
Reliance	67,1 cd	596,5 bc	8,4 bc
Liberty	93,1 cd	531,9 bc	7,4 bc
Merced	37,1 cd	524,0 bc	7,3 bc
Splendor	53,9 ^d	497,2 c	7,0 c
<i>Prob</i>	<i><0.000</i>	<i><0.000</i>	<i><0.000</i>

*Letras diferentes em coluna indicam diferenças significativas (P <0,05) entre tratamentos.

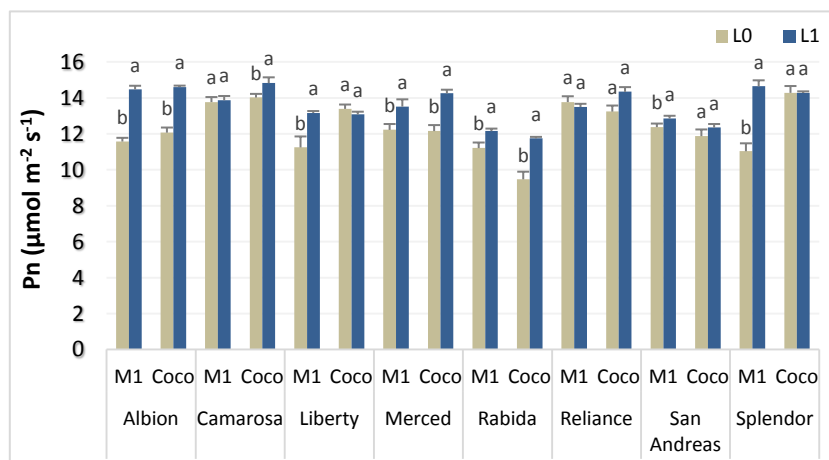


Figura 1 – Influência da luz LED na fotossíntese líquida (Pn) das cultivares de morangueiro cultivadas em substrato M1 e Coco, em floração. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre L0 (sem luz LED) e L1 (com luz LED) para o mesmo tipo de substrato.

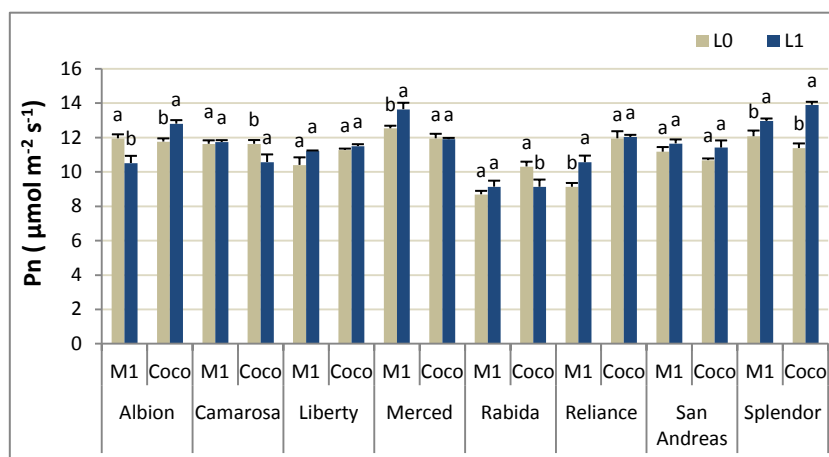


Figura 2 – Influência da luz LED na fotossíntese líquida (Pn) das cultivares de morangueiro cultivadas em substrato M1 e Coco, em plena frutificação. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre L0 (sem luz LED) e L1 (com luz LED) para o mesmo tipo de substrato.

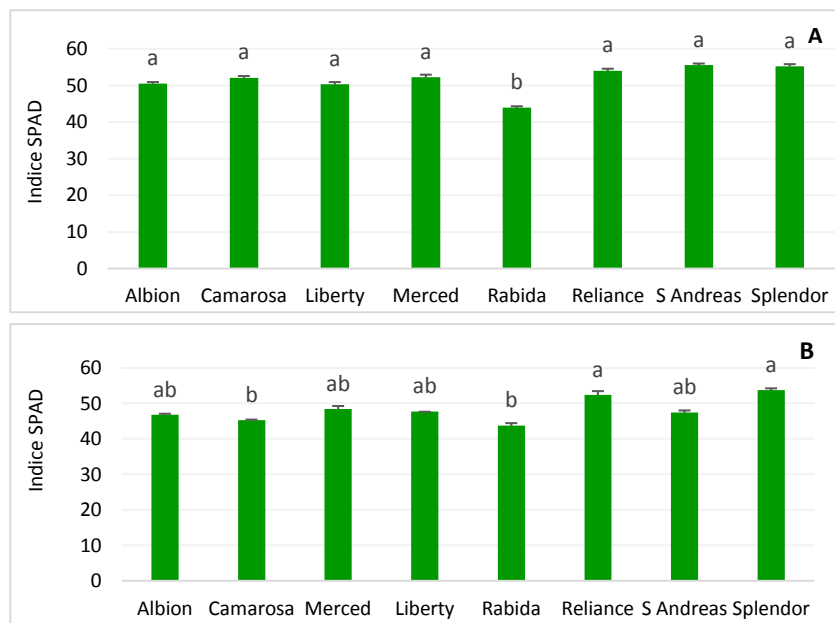


Figura 3 – Teor de clorofilas (Índice SPAD) das diferentes cultivares ensaiadas, na floração (A) e em plena frutificação (B). Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre cultivares.

Plant Growth, Yield and Fruit Quality of *Fragaria* × *ananassa* Genotypes under Supplemental LED Lighting System and Substrate Cultivation

M.G. Palha¹, F. Pestana^{1,2} and C. M. Oliveira²

¹National Institute for Agrarian and Veterinary Research, I.P., Oeiras, Portugal, graca.palha@iniav.pt

²Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food (LEAF), Instituto Superior de Agronomia (ISA), Lisbon, Portugal



INTRODUCTION

Natural light limitation in the fall-winter period can be overcome by artificial light. Artificial assimilation lighting systems in strawberry have been used as supplemental to natural day light to stimulate photosynthesis and plant growth and to increase plant productivity. There are few studies focused on the effects of supplemental lighting under Mediterranean regions where strawberry crop is a competitive berry fruit grown frequently under protected culture and where the substrate systems are increasing to remain the competitiveness of the strawberry industry.

AIM

This study was conducted to examine the effects of supplemental lighting with light-emitting-diodes (LED) lamps during winter months on plant growth and crop performance of several *Fragaria* × *ananassa* genotypes (short-day and day neutral), aiming to ascertain if would anticipate and improve fruit production. Focus was also done to evaluate the adaptation of different cultivars to two organic substrates taking in account that Portuguese strawberry industry relies on foreign cultivars.

MATERIALS & METHODS

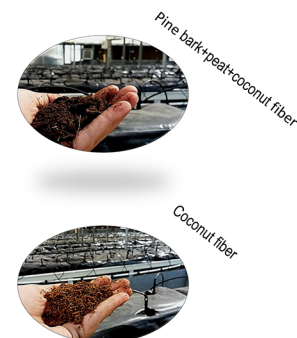
Short-day cultivars



Dayneutral cultivars



- The trial was established in a glasshouse at Oeiras, Portugal (38° 41' N, 9° 19' W, 70 m above sea).
- Light treatments: with (L1) and without (L0) supplemental lighting, with Philips GreenPower lamps flowering DR/W, 18 W and 22 $\mu\text{mol s}^{-1}$; 4 h every day, from December till February.
- Substrates: M - mixture of 40% pine bark + 40% peat + 20% coconut fiber and C - 100% of coconut-fiber.
- PAR radiation and temperature were recorded using a data logger located in L0 sector and above the canopy.
- Plant growth parameters: leaf area and plant dry matter.
- Yield and fruit quality measurements: total, marketable and unmarketable yield; soluble solids content (SSC), titrable acidity and firmness of fruits.



RESULTS AND DISCUSSION

Table 1. Changes in monthly PAR radiation and temperature values

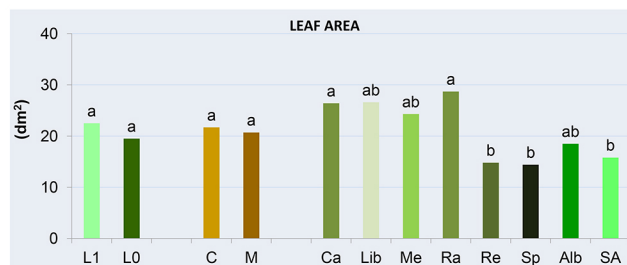
	December	January	February	March	April	May
PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	375	291	552	675	814	863
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	19.3	18.7	19.6	23.9	25.6	25.1

The lowest and the highest monthly PAR radiation in natural light ambient measured between 13h00 and 14h00 was respectively in January and May.

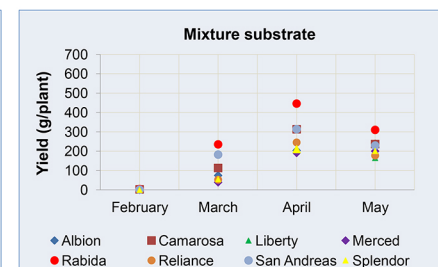
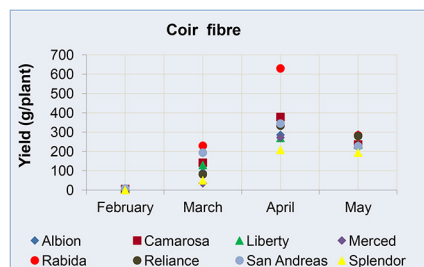
Table 2. Early and total fruit yield and overall fruit quality

	Early yield		Total yield		Firmness	TSS	TA
	(g/plant)	(g/plant)	kg m ⁻²	Durofell U.	(%)	(%)	g L ⁻¹ of citric acid
Substrate							
M	101.3 a	587.8 b	8.2 b	61.0	8.1 a		9.4 a
C	119.3 a	723.3 a	10.1 a	60.5	7.8 b		8.8 b
Cultivar							
Rábida	232.3 a	1070.0 a	14.9 a	63.6 b	8.2 ab		7.6 e
Camarosa	127.3 bc	713.2 b	10.0 b	63.5 b	7.9 abc		8.6 d
San Andreas	187.9 ab	709.1 b	9.9 b	55.5 c	7.7 abc		9.1 cd
Albion	83.6 cd	602.6 bc	8.4 bc	53.8 c	8.5 a		9.0 cd
Reliance	67.1 cd	596.5 bc	8.4 bc	55.0 c	7.0 c		9.1 cd
Liberty	93.1 cd	531.9 bc	7.4 bc	70.9 a	7.6 bc		10.2 a
Merced	37.1 cd	524.0 bc	7.3 bc	66.4 ab	8.2 ab		9.3 bc
Splendor	53.9 d	497.2 c	7.0 c	57.4 c	8.3 ab		9.9 ab

- Plant productivity and berry quality were mainly affected by differences between substrate composition and cultivars rather than by LED light treatment.
- Coconut fiber substrate induced larger fruits and higher total yields than substrate M.
- All cultivars produced higher percentage of fruit size > 35 mm as compared to the standard cultivar Camarosa.



- There was a general tendency for plants grown under supplemental LED lighting to show a greater vegetative response than plants grown in natural light conditions. Leaf area was not affected by substrate type but differed clearly between cultivars.



- 'Rábida' plants yielded more and produced the highest early fruit yield among cultivars while other cultivars equaled or produced less than 'Camarosa' (standard cultivar).



CONCLUSIONS

Light conditions over winter period were not limiting for strawberry growth and production under protected substrate cultivation, in the central region of Portugal. Despite their lower vegetative vigour the DN cultivars responded similarly as SD cultivars in substrate culture. The variation of growth and yield of *Fragaria* × *ananassa* relied above all on genotype and substrate type. The genotype played also a determinant role in fruit quality definition.

REFERENCES

- Choi, H.G., Moon, B.Y., and Kang, N.J. (2015). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae* 189, 22-31.
- Lopez-Medina, J., Perabo, A., Flores, F. (2008). Closed soilless system growing: A sustainable solution to strawberry crop in Huelva (Spain). *Acta Hort.* 649, 213-215.
- Palência, P., Bordonaba, J.G., Martínez, F. and Terry, L.A. (2016). Investigating the effect of different soilless substrates on strawberry productivity and fruit production. *Sci Hort.* 203, 12-19.
- Pestana, F., Semedo, J.N., Scotti-Campos, P., Oliveira, C.M. and Palha, M.G. (2018). Influência da iluminação LED no desempenho fotossintético de *Fragaria* × *ananassa* em substrato. *Actas Portuguesas de Horticulura* 29, 272-279.

ACKNOWLEDGEMENTS

PDR2020-101-031721 – Go CompetitiveSouthBerries

